ORSAY
n° d'ordre : 548

UNIVERSITE DE PARIS-SUD

CENTRE D'ORSAY

THESE

présentée

Pour obtenir

Le TITRE de DOCTEUR INGENIEUR

SPECIALITE : AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

PAR

Monsieur P E R N O T Pierre

SUJET : SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES D'UN DETECTEUR DE RAYONS X RAPIDE A LOCALISATION . APPLICATION AUX ETUDES RESOLUES EN TEMPS

soutenue le 16 SEPTEMBRE 1982 devant la Commission d'examen

MM. R. CASTAGNE Président
R. FOURME
A. BRUN
Y. PETROFF
A. TARDIEU

L'homme a toujours voulu conserver la trace de ses pensées et de ses réalisations. C'est par une démarche semblable que j'ai souhaité, en faisant une thèse de Docteur-Ingénieur, marquer un moment important de ma vie professionnelle dans les laboratoires de recherche. Pris dans cette ambiance particulière de travail, j'ai voulu, moi aussi, apporter ma pierre à l'édifice.

Je ne peux donc, en terminant, qu'adresser un remerciement, non seulement à ceux qui m'ont permis de franchir la dernière étape, mais aussi à tous ceux qui m'ont formé. De mes parents à tous mes professeurs la liste est longue, mais je ne veux pas les oublier. Ma carrière a commencé au Laboratoire de Chimie-Physique, sous la direction de Mademoiselle Y. Cauchois, Professeur, je tiens à l'associer à cette pensée.

Monsieur Castagné a bien voulu accepter la présidence de ce jury ; je lui en suis très reconnaissant et le remercie.

Monsieur Brun a bien voulu accepter de faire partie du jury et de juger ce travail. J'ai eu plaisir à lui montrer ma réalisation et à échanger des idées sur l'électronique actuelle ; de tout celà, je le remercie vivement.

La physique autour des anneaux de stockage ne peut se faire qu'avec la participation d'un grand nombre de personnes, il me semble donc juste de souligner que ce travail, dont j'ai eu la charge d'être maître d'oeuvre, est l'aboutissement de nombreux efforts.

Monsieur G. Charpak et son équipe ont réalisé le détecteur. Parmi les membres de cette équipe, je remercie plus particulièrement M. G. Million pour la construction du détecteur et M. J.C. Santiard pour la réalisation de l'électronique analogique et nos conversations à l'interface des deux composantes de cet ensemble.

A mon arrivée à LURE, M. Y. Farge, alors Directeur, a accepté que je consacre une partie de mon temps à ce travail, conscient qu'il était de la nécessité pour le laboratoire de disposer d'un tel appareillage. M. Y. Petroff, Directeur, à son tour a confirmé cette option et a bien voulu concrétiser ce choix en acceptant de faire partie du jury. Qu'ils soient tous les deux remerciés de m'avoir permis de suivre une telle voie.

UNIV. LEIDEN BIBL.

A l'origine de cette réalisation, à laquelle ils ont donné l'impulsion initiale, Messieurs R. Fourme et R. Kahn, m'ont prodigué conseils et encouragements. Intéressés par les détecteurs à fils pour leurs propres recherches, convaincus de leur intérêt pour le rayonnement synchrotron, ils m'ont aidé à mener à bien cette tâche et à en dégager l'essentiel. Je les remercie de leur appui et de leur aide.

Tout au long de la réalisation de l'électronique, P. Leboucher m'a aidé avec compétence et intelligence, il y a de ses idées dans ce travail, je le remercie tout particulièrement.

J'ai eu de nombreuses discussions avec M. Lemonnier sur le fonctionnement des détecteurs, surtout des détecteurs à fils ; je dois beaucoup à son expérience dans ce domaine.

J'ai vécu l'expérience des runs de 24 H et 36 H à LURE avec des chercheurs qui n'ont pas craint d'utiliser mon matériel et d'accepter ma collaboration. A. Tardieu et J.L. Ranck, je vous associe tout particulièrement à ce travail et vous remercie de votre confiance ; vos thèmes de recherche m'ont permis de démontrer l'efficacité de ma réalisation. Quant à moi, j'ai été heureux de travailler avec vous.

Nombreux ont été les chercheurs qui m'ont assisté de leurs connaissances à un moment ou à un autre, je les remercie tous et ne citerai que ceux que j'ai consulté le plus comme J.C. Brochon, M. Sauvage, P. Vachette, C. Williams, F. Wuilleumier.

Certains mystères des anneaux de stockage m'ont été révélés par Messieurs Marin, Belbeoch, Sommer, Hasselweiler, Bergher ; je les remercie et, à travers eux, tout le Personnel du Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire.

M. Chauveau m'a permis, grâce à ses prises de vues, d'enjoliver la mise en forme du texte en rompant son aspect un peu sévère, je l'en remercie.

Enfin, je tiens à remercier tout le Personnel technique et administratif de LURE. Grâce aux efforts de tous, j'ai pu mener ce travail à bien. Je sais combien de responsabilités pèsent sur leurs trop peu nombreuses épaules et la peine qu'ils prennent pour la bonne marche du Laboratoire.

A high count rate one-dimensional position sensitive detector and a data acquisition system for time resolved X-ray scattering studies.

Abstract

A curved multiwire proportional drift chamber has been built as a general purpose instrument for X-ray scattering and X-ray diffraction experiments with synchrotron radiation. This parallaxe-free one-dimensional linear position sensitive detector has a parallel readout with a double hit logic. The data acquisition system, installed as a part of the D11 camera at LURE-DCI, is designed to perform time slicing and cyclic experiments ; it has been used with either the fast multiwire chamber or a standard position sensitive detector with delay line readout.

Système d'acquisition de données d'un détecteur de rayons X rapide à localisation. Application aux études résolues en temps.

Résumé

Une chambre multifils courbe, fonctionnant en régime proportionnel et pourvue d'un espace de dérive a été construite pour servir de détecteur de rayons X dans les expériences de diffusion et de diffraction réalisées avec le rayonnement synchrotron. Ce détecteur, sans parallaxe, localise les photons dans le plan horizontal. Chaque fil dispose de sa chaîne d'acquisition ainsi que d'un dispositif appelé "logique" qui permet de tenir compte des événements simultanés. Le système d'acquisition de données est installé sur la sortie de lumière D11 de LURE-DCI, il est prévu pour des expériences en statique ou en cinétique. Il a été utilisé soit avec la chambre à fils soit avec un détecteur de position à fil unique.

Page

I - INTRODUCTION 1

1. Données élémentaires sur le rayonnement synchrotron .. 2
2. Diffusion - Diffraction 8
3. Adaptation du détecteur aux méthodes expérimentales .. 8
4. Les détecteurs en lumière synchrotron 9
   4.1 Chambres proportionnelles à fil unique ou multifils 9
      a) Principe de fonctionnement
      b) Chambre proportionnelle à fil unique
      c) Détecteur en jeu de jacquet
   4.2 Détecteur à pointes type Comby 14
   4.3 Détecteur à photodiodes 17

II - LE DETECTEUR 19

1. Fonctionnement 19
2. Particularité du détecteur 22
3. Description 24

III - L'ELECTRONIQUE 29

1. L'ensemble du montage 29
2. L'électronique analogique 29
3. L'électronique digitale d'acquisition 34
   3.1 Tiroirs de logique 34
   3.2 Carte 8 fils 39
   3.3 Contrôleurs de chassis 39
   3.4 Contrôleur de bus 40
   3.5 L'interface 41
   3.6 Tiroir générateur 46
   3.7 Multiplexeur 46

IV - LE LOGICIEL 48

1. Les fonctions réalisables 48
2. Classification des programmes 49
3. Structure des programmes 49
4. Description des programmes 50

V - ESSAIS AVEC SOURCE Fe55 56

1. Caractéristiques de la source 56
2. Paramètres influençant le taux de comptage à flux constant 56
   a) Tension de seuil Vs 58
   b) Bruit 60
   c) Haute tension de l'espace proportionnel 60
   d) Distance de la source à la chambre 61
   e) Temps d'exposition 61
   f) Mélange gazeux 61
3. La logique 61
   a) Définitions et formules 62
   b) "Coefficients" k et α du détecteur 64
   c) Répartition des événements 64
4. Reproductibilité 65
5. Linéarité différentielle 66
6. Normalisation 66
7. Spectres normés et examen statistique des méthodes de correction 67
8. Lissage 69
9. Tableau de calcul 70
10. Linéarité du taux de comptage 70
11. Spectre d'une grille périodique 73

VI - ESSAIS EN LUMIERE SYNCHROTRON ... 76

1. Description de l'installation 76
   a) Monochromateur 76
   b) Chambre à ionisation 79
   c) Fentes 79
2. Proportionnalité au temps 81
3. Normalisation avec le carbone 85
   a) Nécessité d'une méthode de normalisation 85
   b) Calcul du spectre étalon pour le détecteur 85
   c) Méthode de normalisation 87
   d) Résultats 89

4. Proportionnalité au flux 89
a) Méthode expérimentale 89
b) Difficulté de la mesure 89
c) Calculs 92
α) Formule générale 92
β) Emission de l'anneau en λ et en λ/3 92
γ) Rapport des atténuations 93
d) Résultats 95

5. Résolution 99
a) Résolution courante 99
b) Amélioration de la résolution 99
c) Résultats 103
d) Justification et limites de la méthode 103

VII - ETUDE DES SYSTEMES BIOLOGIQUES LIPIDES-EAU 108

1. Structure des lipides et but de l'étude 108
2. Méthode expérimentale 110
3. Etude des lipides aux petits angles 110
4. Etudes aux grands angles 114
5. Interprétation 115
6. Etudes simultanées aux grands angles et aux petits angles 119
7. Résultats de ces études 119
8. Conclusion 122

VIII - CONCLUSION 123

BIBLIOGRAPHIE 125

I - INTRODUCTION

Un anneau de stockage $e^+ e^-$ de haute énergie, tel que DCI à Orsay, est une source de rayons X d'une brillance (×) au moins cent fois supérieure à celle des tubes à cathode tournante. Cette brillance élevée étend les possibilités d'études en cinétique d'une grande variété de systèmes par diffusion ou diffraction X, à condition de disposer de détecteurs capables de fonctionner sous des flux aussi intenses.

De ce fait, il est apparu nécessaire de réaliser un détecteur à haut taux de comptage qui, muni d'un système d'acquisition de données, rende possible de telles études résolues dans le temps.

Un projet commun d'un groupe de LURE et du CERN a permis de mener à bien une telle réalisation, LURE prenant en charge la mise en oeuvre de l'ensemble et réalisant le système d'acquisition de données, le groupe du CERN fournissant le détecteur.

Les spécifications étaient : localisation unidimensionnelle, taux de comptage élevé (plusieurs millions de photons X sur l'ensemble du détecteur), gamme d'énergie de 4 à 12 keV, résolution en temps de l'ordre de la milliseconde, possibilité de réaliser des cycles d'acquisition découpés en un certain nombre de spectres de durée modulable par l'utilisateur en fonction de la dynamique du phénomène étudié.

La solution choisie pour le détecteur a été celle d'une chambre à fils fonctionnant en régime proportionnel, et qui, pourvue de 600 fils verticaux, permet la localisation des photons dans le plan équatorial. Chaque fil possède sa chaîne électronique, le temps mort de chaque canal ainsi constitué est donc indépendant des autres et il est possible de prendre en compte des événements se produisant simultanément en différents points du détecteur.

L'ensemble a été mis en oeuvre avec succès et les premières prises de données ont eu lieu en juillet 1981.

Cet appareillage est un des tout premiers à avoir rendu possible des expériences de cinétique et c'est le seul au monde à notre connaissance qui permette des acquisitions de données en cinétique simultanément aux grands angles et aux petits angles. Grâce à lui, la corrélation temporelle des transitions à courte et à grande distance se trouve réalisée sans aucune sujétion expérimentale (identité de flux et d'échantillon).

(×) brillance : nombre de photons émis dans un angle solide déterminé par unité de surface de la source à une longueur d'onde définie et dans une bande passante donnée.

1. Données élémentaires sur le rayonnement synchrotron

a) Caractéristiques physiques du rayonnement

Une particule relativiste chargée (électron ou positron) émet de la lumière lorsqu'elle est soumise à l'accélération centripète que lui communique le champ magnétique de l'aimant qu'elle traverse. Cette lumière est émise tangentiellement à la trajectoire de la particule, dans la direction de son mouvement et dans un cône, dont l'ouverture est d'autant plus faible que l'énergie de la particule est plus élevée (Figure I.1 - I.2). Ce rayonnement se traduit pour la particule par une perte d'énergie qu'il faut lui restituer au moyen d'une cavité haute fréquence pour la conserver sur une orbite stable. Le synchronisme entre l'onde HF et le passage des particules a pour effet de rassembler les particules stockées sous forme de paquets. Le nombre de paquets est égal au rapport du temps nécessaires à la particule pour effectuer un tour à la période de la HF. Pour un observateur (une ligne de lumière) placé en un point de l'orbite la lumière n'existera que pendant le temps de passage du paquet, l'émission étant rigoureusement nulle entre le passage de deux paquets. D'où le caractère pulsé de l'émission.

Le rayonnement émis résulte de la superposition sans cohérence des émissions de chaque particule du paquet. Le spectre est continu et s'étend sur un large domaine de longueur d'onde. La puissance rayonnée étant grande, le flux de photons est élevé ; ce flux est focalisé dans le plan de l'orbite.

La stabilité de trajectoire, nécessaire pour stocker longtemps des particules à l'intérieur des anneaux, confère au rayonnement une grande stabilité spatiale et temporelle.

De ces deux dernières qualités jointes à une bonne focalisation des particules, résulte une grande brillance des points sources. La brillance est en fait, pour la plupart des utilisateurs de rayonnement synchrotron, la caractéristique essentielle des anneaux de stockage.

Enfin, la lumière est polarisée linéairement dans le plan de l'orbite.

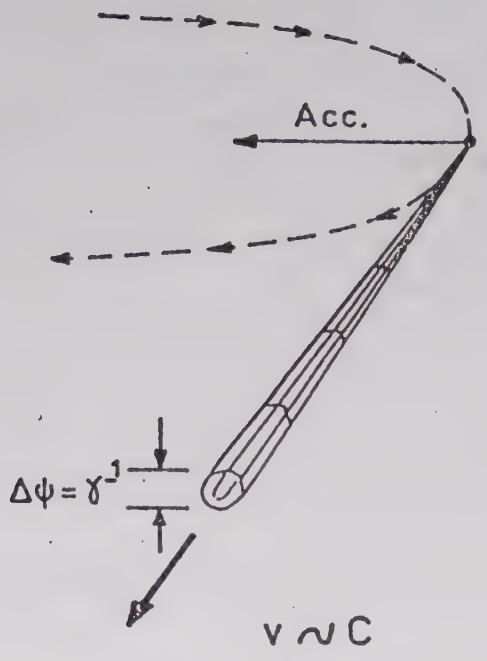


fig I.1

: Emission de radiation électromagnétique par un électron se déplaçant sur une orbite circulaire. A basse énergie, l'émission est quasi-isotrope. A haute énergie, l'émission est projetée en avant, dans un cône d'ouverture ~ $1/\gamma$ dont l'axe coïncide avec la tangente instantanée à la trajectoire.

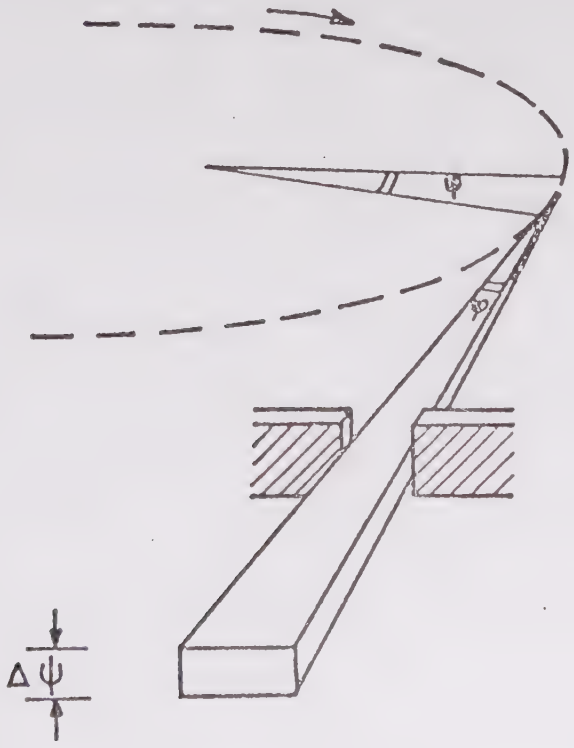


fig I.2

: De l'extrêmité de la ligne de transport de lumière, on "voit" une portion d'orbite sous-tendue par l'angle au centre ϕ . La divergence dans le plan vertical est celle de l'émission d'un électron ; dans le plan de l'orbite, l'ouverture dépend de la conception de la ligne.

b) Formules essentielles

L'ouverture du cône d'émission de la lumière est de l'ordre de

$$\frac{1}{\gamma} \text{ avec } \gamma = \frac{E}{m_o c^2}$$

E énergie de la particule, m_o masse au repos

c vitesse de la lumière.

Si E est exprimée en GeV on a $\gamma = 1957 E_{GeV}$ ($\frac{1}{\gamma}$ en rad).

On définit pour un anneau de stockage une longueur d'onde critique

$$\lambda_c = \frac{4\eta R}{3}\gamma^{-3}$$

R étant le rayon de courbure de la trajectoire. Il est commode d'utiliser l'expression

$$\lambda_{c\mathring{A}} = 5,59\ R_m (E_{GeV})^{-3}.$$

La puissance rayonnée est maximum pour une longueur d'onde $\lambda = 0,42\lambda_c$ tandis que le nombre de photons est maximum à $\lambda = 0,76\lambda_c$.

Enfin, le nombre total de photons $N(\lambda)$ émis dans tout l'espace, dans une bande passante de 1Å, par milliradian d'orbite (ouverture horizontale), par seconde et pour un courant stocké I exprimé en milliampères est

$$N(\lambda) = 2,998.10^{-1}\frac{\gamma^4}{R} I G_2(y),$$

R étant exprimé en mètre, $G_2(y) = y^2 \int_y^\infty K5/3(x)dx$.

où $y = \frac{\lambda_c}{\lambda}$ et K5/3 la fonction de Bessel modifiée d'ordre 5/3.

De façon plus pratique, on utilise la courbe universelle $F_o(\lambda/\lambda_c)$ dont le graphique en coordonnées Log/Log est reproduit figure I.3 (d'après Green 1976)

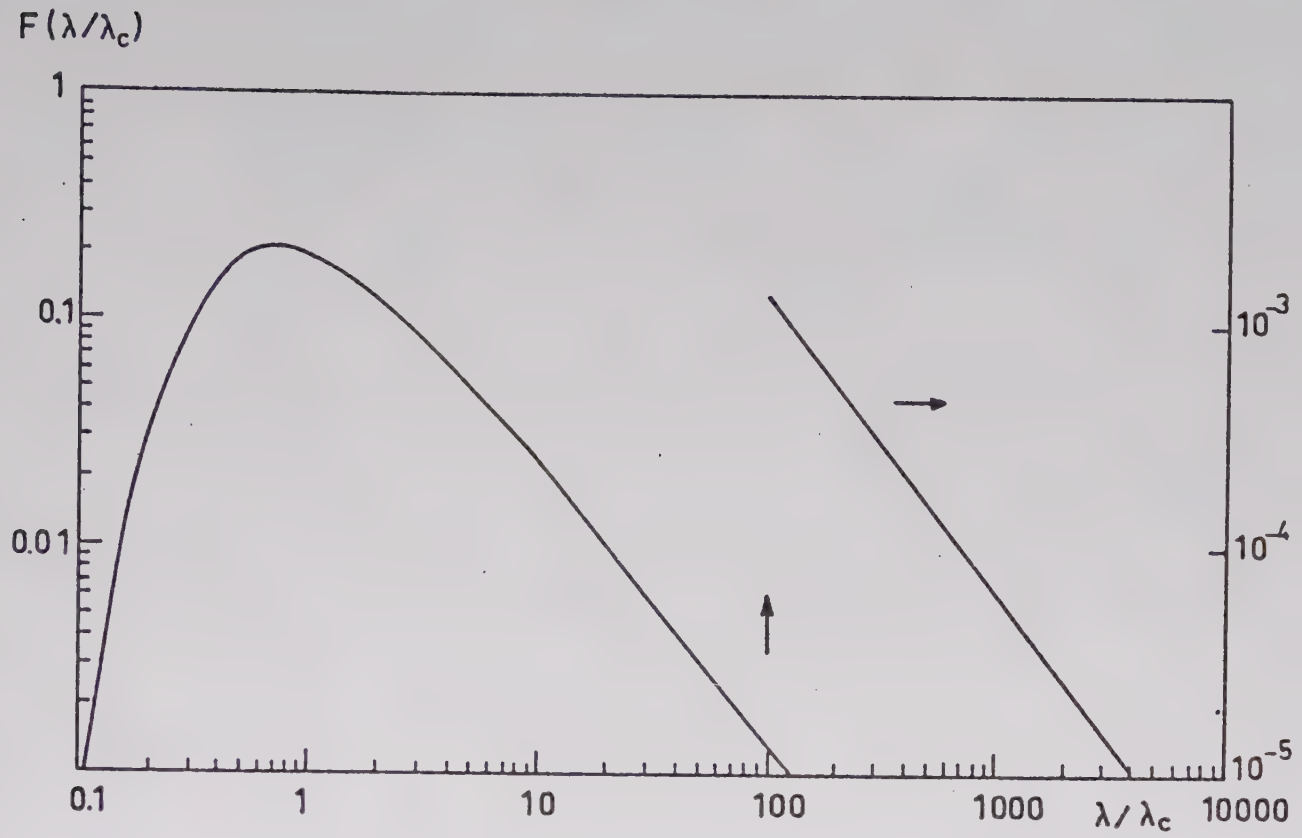
on a $N(\lambda) = \frac{\gamma^4}{R} I F_o(\lambda/\lambda_c)$.

c) Valeurs numériques

Pour DCI, (Fig. I.4 et Fig. I.5), utilisé dans des conditions typiques pour une expérience de diffusion X

E = 1,72 GeV I = 188mA λ = 1,54Å

on a $\gamma = 3366$ soit $\frac{1}{\gamma} = 0,3$mrad.



Graphe de la fonction F (λ/λ_c). Cette fonction universelle intervient dans le calcul du nombre de photons émis par un anneau de stockage par seconde, par Å, par milliradian d'orbite, par mA et intégré dans le plan vertical. λ est la longueur d'onde du domaine considéré, λ_c est la longueur d'onde critique de l'anneau.

fig I.3

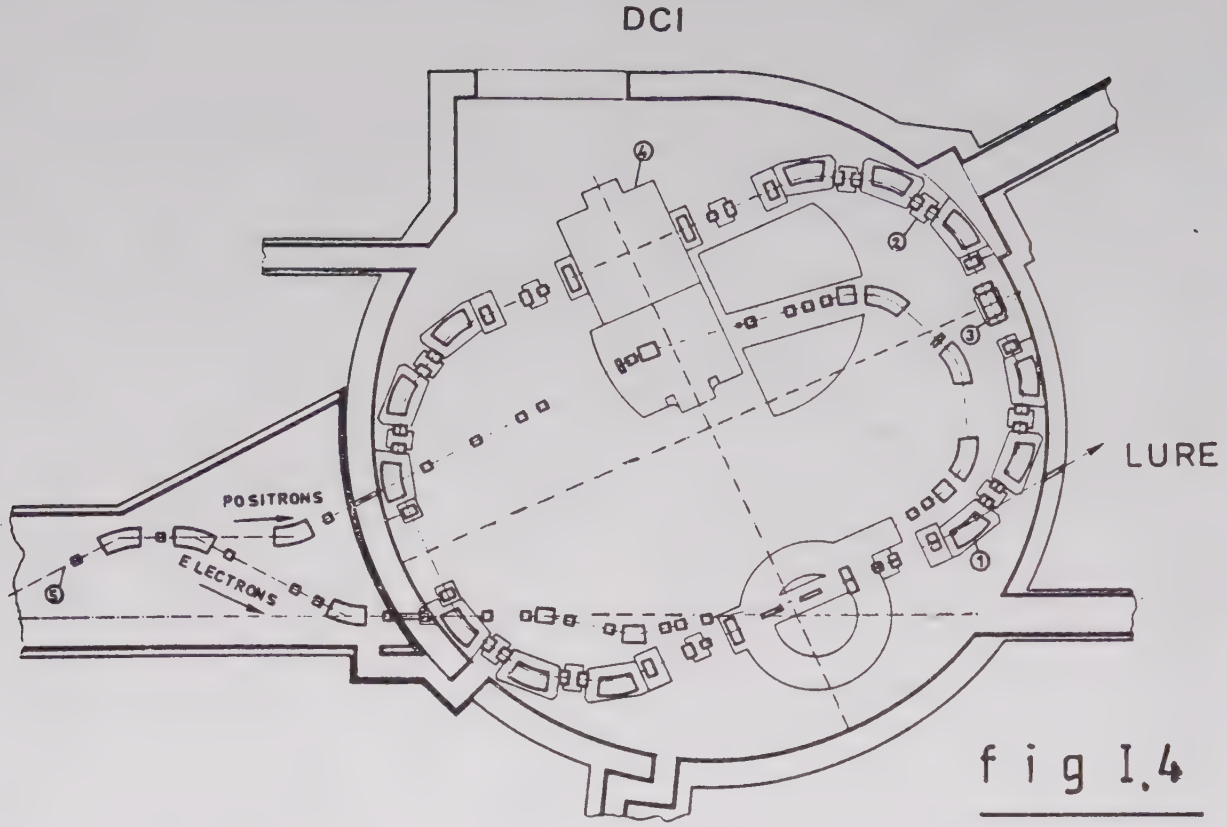


fig I.4

A.III.2-2-1 Figure 1 : Dispositif de Collision dans l'Igloo (D.C.I.) près du Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire d'Orsay.
Projection horizontale de D.C.I.;(1) : aimants;(2) : quadrupôles et hexapôles;(3) : cavité radiofréquence;(4) : section expérimentale où se croisent les faisceaux des deux anneaux;(5) : dispositif d'injection. La direction de sortie du rayonnement utilisé par L.U.R.E. est indiquée par une flèche.

Dans une telle machine, les particules sont stockées sur une orbite dans une enceinte annulaire où règne un vide poussé. Cette enceinte, ou chambre à vide, est constituée de sections courbes et de sections droites : les sections courbes sont à l'intérieur d'aimants dont les champs magnétiques font tourner les électrons; sur certaines sections droites sont placées des lentilles magnétiques qui permettent de focaliser le faisceau et de contrôler sa position dans la chambre. Une des sections droites sert à l'injection ; c'est sur cette section qu'arrivent les canalisations qui amènent les électrons et les positrons. Un accélérateur linéaire accélère ces particules qui sont alors injectées dans la machine jusqu'à ce que le nombre stocké soit suffisant. En tournant, ces particules émettent du rayonnement synchrotron et perdent de l'énergie, qui leur est restituée par une cavité radiofréquence placée sur une autre section droite, le champ électrique dans cette cavité réaccélérant les particules. Sur une autre section droite ont lieu les collisions électron-positron qui produisent des réactions étudiées par les physiciens des hautes énergies. Une fois cette injection finie, les particules tournent sur leur orbite dans la machine, et leur nombre décroit lentement avec le temps par collisions avec les atomes et molécules résiduels dans la chambre à vide. Dans une machine comme D.C.I., le courant stocké décroît en général d'un facteur 2 au bout d'une dizaine d'heures. Dans cette machine, le faisceau d'électrons (ou de positrons) a une section de l'ordre de 6 x 2.4 mm^2 et l'énergie des particules peut atteindre 1.85 Gev ; de plus, le champ électrique alternatif de la cavité radio-fréquence a pour effet de mettre les électrons en paquets, un ou deux paquets qui font environ 30 cm de long pour une longueur de trajectoire de l'ordre de 92 m ; l'observateur qui regarde la lumière émise en un point verra donc des flashes très courts de 1 nanoseconde (1 milliardième de seconde) toutes les $3\,1\,6$ ns émis par une source très ponctuelle.

: Distribution en longueur d'onde du rayonnement émis par D.C.I. à différentes énergies de fonctionnement.

fi

$\lambda_c = 4,39\text{Å}$ (R = 4m) d'où $\lambda/\lambda_c = 0,35$

On trouve $F_o(0,35) = 0,13$

d'où $N(\lambda) = 7,8.10^{14}$ photons/s pour 1mrad d'orbite intercepté et pour ce courant stocké.

Dans des conditions comparables, DCI à 1,72GeV et un courant stocké de 300mA, un flux de $1,5.10^{11}$photons.s^{-1} a été mesuré après le monochromateur. La longueur d'onde était de 1,40Å et la ligne focale de 7 x 0,7mm^2 (Kahn et al 1982).

Enfin, on notera que l'impulsion de lumière est de 1ns et qu'elle se reproduit toutes les 316ns.

2. Diffusion et Diffraction

L'étude de la matière à l'aide des rayons X repose essentiellement à LURE sur l'exploitation de la diffusion élastique, c'est-à-dire la réémission par la matière du rayonnement incident sans changement de longueur d'onde.

Dans la diffusion élastique, les électrons du milieu se comportent comme autant de sources secondaires cohérentes. Lorsque les diffuseurs sont disposés de manière périodique l'interférence des ondes diffusées construit des taches ou des raies. On parle alors de diffraction. Si le milieu est désordonné, la diffusion est modulées dans l'espace.

Des figures de diffusion ou de diffraction obtenues, on tire des informations sur la structure de l'échantillon.

3. Adaptation du détecteur aux méthodes expérimentales

Certaines méthodes de diffusion ou de diffraction des rayons X conduisent à un diagramme ayant une symétrie radiale. Un détecteur linéaire situé dans le plan équatorial suffit alors à recueillir toute l'information. C'est le cas en diffraction avec les "diagrammes de poudre" ou de Debye-Scherrer (les échantillons consistent en une poudre très fine de microcristaux et donnent des cercles uniformes sur un détecteur perpendiculaire à l'axe du faisceau) et pour la diffusion par une solution.

Ce sont ces méthodes qui ont influencé le choix de la géométrie de la chambre, en faisant toutefois un compromis entre taux de comptage élevé et définition du détecteur. Ce compromis se révèle particulièrement adapté pour les études de diffraction : le taux de comptage élevé permet la mesure de raies intenses et étroites qui pourraient saturer d'autres types de détecteurs.

Il est également adapté aux méthodes de diffusion aux angles moyens qui généralement ne nécessitent pas une bonne résolution, mais plutôt la possibilité de couvrir un vaste domaine angulaire.

4. Les détecteurs en lumière synchrotron

Parmi les détecteurs utilisés en lumière synchrotron, on examinera les détecteurs à gaz travaillant en régime proportionnel dans lesquels la localisation s'effectue à l'aide d'un ou plusieurs fils, ce sont de loin les plus répandus. On envisagera également l'emploi des détecteurs à pointes et des détecteurs solides à photodiode.

4.1 Chambres proportionnelles à fil unique ou multifils

a) Principe de fonctionnement

Un fil tendu est placé entre deux plaques qui lui sont parallèles et porté par rapport à elles à un potentiel allant de quelques dizaines de volts à quelques kilovolts (Fig.I.6). Cet ensemble est plongé dans un gaz noble type Ne, Ar, Xe ou un mélange gazeux associant gaz noble et d'autres gaz (Co_2, méthane, etc.).

Un picoampèremètre placé en série permet de relever la valeur du courant qui traverse le montage. Une résistance également en série permet d'observer avec un oscilloscope la forme du signal de courant recueilli.

Si l'on irradie le système avec un flux de photons constant et monochromatique et que l'on fait varier le champ électrique appliqué, la courbe du courant i a l'allure indiquée sur la Fig. I.7 où la tension est prise comme paramètre.

Après une montée rapide jusqu'à une soixantaine de volts, on obtient un premier plateau horizontal qui se poursuit jusqu'à 400 volts environ. Ce qui correspond à un champ électrique de 300 V/cm. C'est la zone de fonctionnement en chambre à ionisation. Tous les électrons créés par effet photoélectrique par les photons incidents dans leur rencontre avec le gaz, sont captés par le fil. Typiquement, il faut 30eV pour créer 1 photoélectron, donc 1 photon de 10keV crée 300 électrons environ.

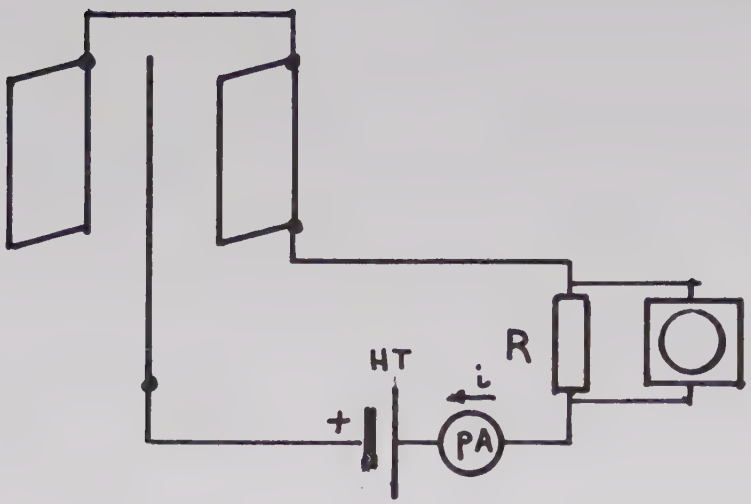


fig I.6

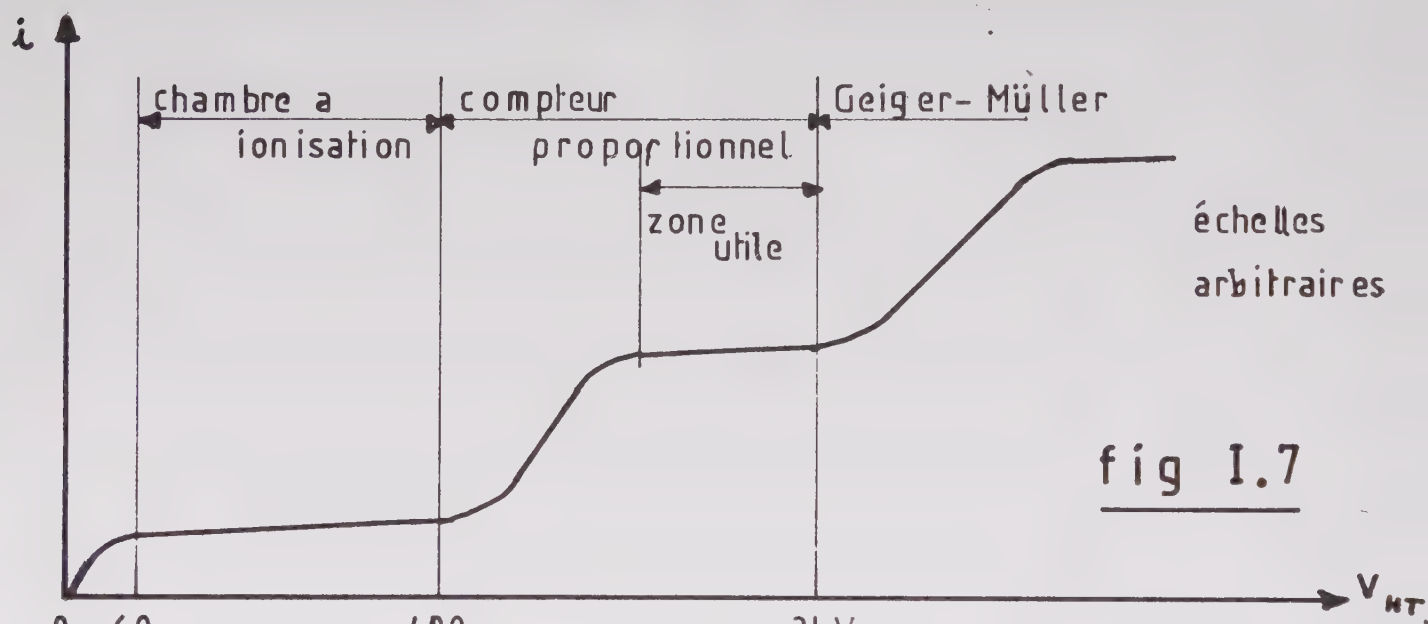


fig I.7

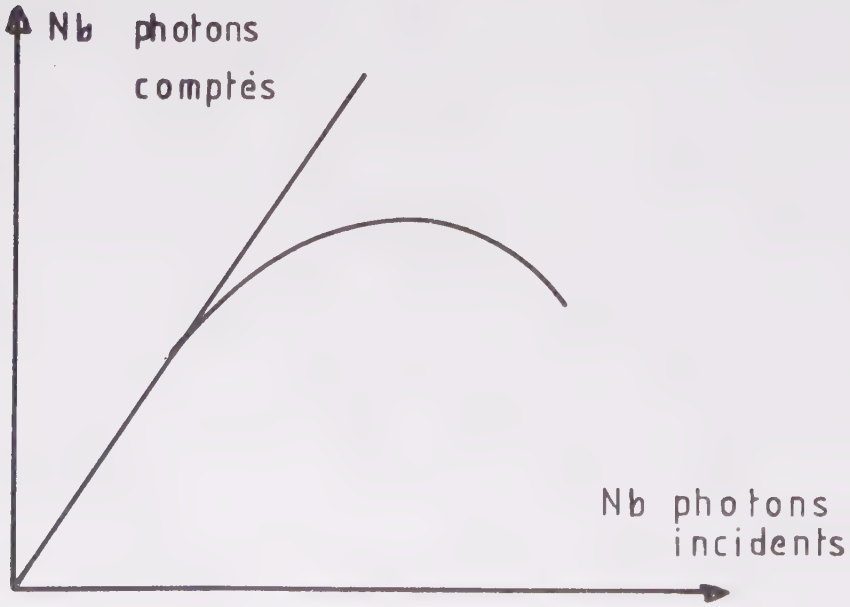


fig I.8

Si l'on observe à l'oscilloscope, l'on verra une impulsion correspondant à l'absorption discrète d'un photon. La dispersion en amplitude de cette impulsion est proportionnelle à $\sqrt{n}$ soit ici $\sqrt{300} = 17,3$. C'est la limite de la proportionnalité en énergie du détecteur, les autres paramètres comme HT et gaz étant maintenus constants.

Ainsi avec une résistance $R = 10^6\Omega$ et une impulsion de 1µs, on aura par photoélectron incident une amplitude

$$v = Ri = R\frac{Q}{T} = 10^6 x 300 x 1,6.10^{-19} x \frac{1}{10^{-6}} = 50\mu V.$$

Si l'on continue à faire croître le champ électrique on obtient une augmentation du courant puis un second plateau. C'est la zone de fonctionnement en compteur proportionnel, la partie utile étant celle qui est horizontale, c'est-à-dire indépendante de la haute tension. Cette zone correspondant au fait que les photoélectrons crées rencontrent au voisinage du fil un champ électrique suffisamment intense pour leur communiquer une grande énergie avec laquelle ils sont capables d'ioniser le gaz à leur tour. Il y a multiplication des électrons. C'est un gain, que l'on appelle en général gain gazeux du détecteur. Ce gain dépend de la haute tension, de la forme du fil, de la nature du gaz. A partir d'une certaine valeur du champ électrique, il devient constant, ce qui correspond au plateau. Ce sont les ions, crées en même temps que les électrons secondaires par les électrons de conversion du photon incident, qui sont suffisamment nombreux pour perturber le champ électrique au voisinage du fil et le faire apparaître comme plus faible pour un certain nombre d'électrons. A ce phénomène peut s'ajouter celui de recombinaison d'électrons avec le gaz, par exemple en présence de CO^2, alors qu'avec l'Argon seul il n'y aurait pas de plateau. Cette zone est dite de fonctionnement en compteur proportionnel, car la hauteur du plateau est proportionnelle à l'énergie du photon incident.

En faisant croître encore la haute tension, on atteint une troisième zone de fonctionnement dite de Geiger-Muller, il y a une avalanche dans le gaz dont tout le volume se trouve ionisé.

Si l'on s'intéresse à la proportionnalité au flux de ce détecteur, on trace la courbe du nombre de photons comptés en fonction du nombre de photons incidents (Fig. I.8). Après une partie linéaire la courbe s'infléchit en dessous de la droite. Celà correspond à l'écrantage de la haute tension par les ions, tel

qu'on l'a vu précédemment, mais ici, ce sont les ions produits par le premier photon incident qui abaissent le champ électrique au voisinage du fil pour les électrons du second photon incident.

Les ions crées lors d'une première impulsion, en s'éloignant du fil à vitesse assez faible (7mm/µs) font obstacles aux électrons qui arrivent sur la même partie du fil et réduisent ainsi l'amplitude d'une seconde impulsion. Cette lente migration des ions est la cause essentielle du temps mort du détecteur. On s'accorde pour dire que cet effet limite le taux de comptage à environ 2.10^4 événements par millimètre de fil. Au delà, l'amplitude des impulsions devient trop faible et l'on enregistre des pertes de comptage croissantes.

Un détecteur à fil permet de localiser l'événement qui a eu lieu puisque l'avalanche se produit en un point précis du fil. Il suffit de lui adjoindre une électronique apte à extraire cette information. On obtient alors un détecteur linéaire de position.

b) Chambre proportionnelle à fil unique (Gabriel et al, 1978).

Un certain nombre de collecteurs sont placés sous le fil et réunis à une ligne à retard. Lorsqu'une avalanche se produit en un point du fil, ils reçoivent un signal par influence. On obtient ainsi un signal à chacune des extrémités de la ligne à retard et la mesure de différence de temps qui les sépare permet de connaître le point du fil où l'événement s'est produit, c'est-à-dire l'endroit où le photon a été converti (Fig. I.9).

Le gaz est un mélange d'Argon et de 30 % de CO_2 que l'on fait circuler par balayage. Avec un détecteur scellé, sur une durée de 8 jours, la reproductibilité a été trouvée de l'ordre de 1 %, le taux de comptage étant de 10^4 coups seconde.

La longueur du détecteur utilisé à LURE est de 60mm.

La résolution spatiale est de l'ordre de 150µ.

Le nombre de coups maximum sur l'ensemble du détecteur est de l'ordre de 40.000c/s lorsque l'on utilise les moyens classiques de conversion temps analogique et analogique digital.

DETECTEUR LINEAIRE A FIL CONDUCTEUR (GABRIEL)

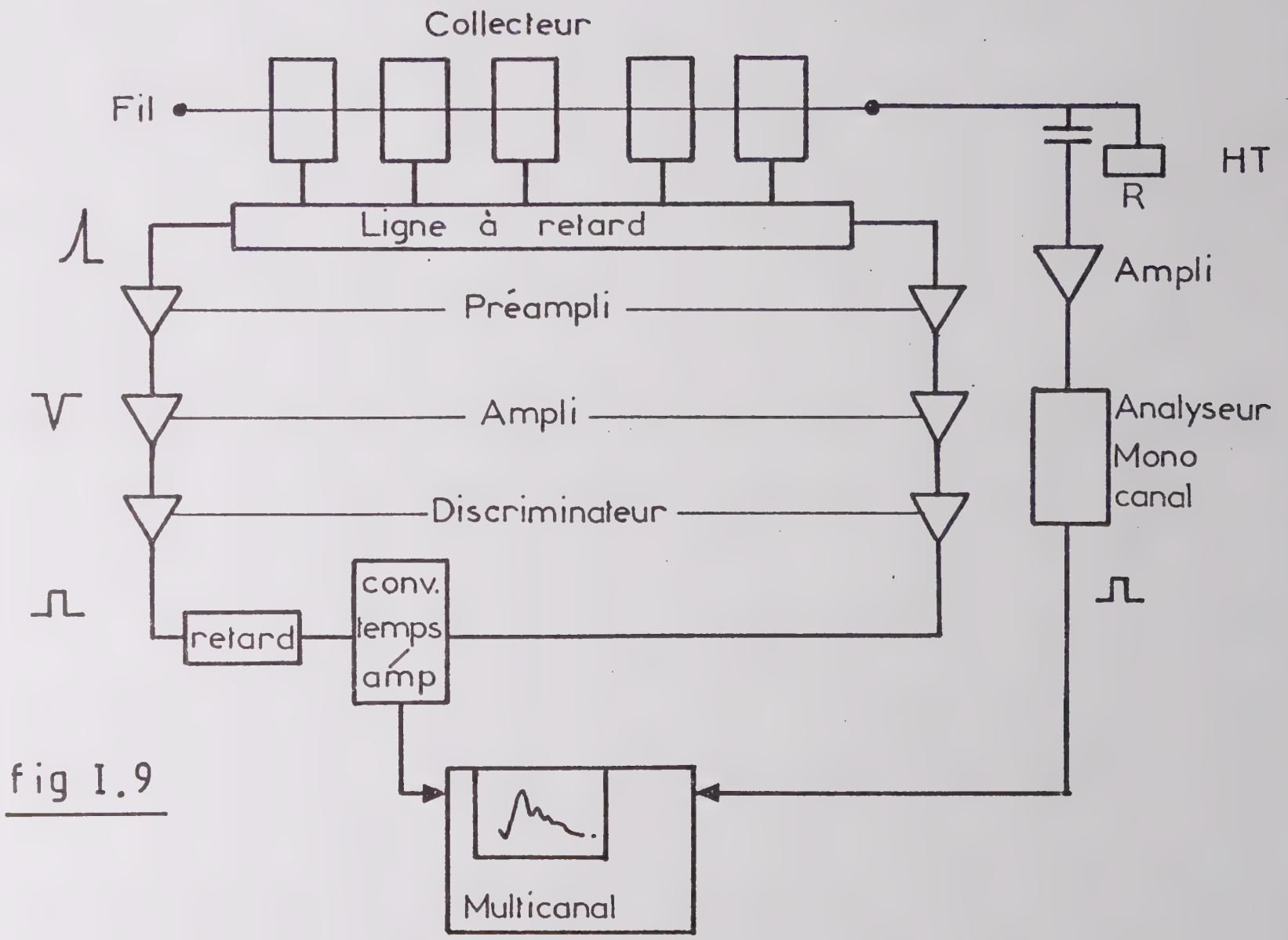


fig I.9

c) Détecteur en jeu de jacquet

Il a été conçu par R. Allemand et G. Thomas du CENG. Il comporte seulement deux collecteurs vis-à-vis du fil. Les charges récupérées sur chacun d'eux dépendent de l'angle solide sous lequel ils sont vus du point où se produit l'événement. L'abscisse x de ce dernier est alors proportionnelle à Q_1/Q_1+Q_2. La normalisation est rendue nécessaire en raison de la dispersion des signaux en amplitude.

Pour rendre le système linéaire en fonction de la position et augmenter l'amplitude des signaux, les deux collecteurs sont sous forme de deux plaques taillées en triangle et enroulées autour du fil (sauf une fente pour laisser passer le faisceau incident) (Fig. I.10). Pratiquement ces deux collecteurs ont leur diagonale découpée en zig-zag d'où l'allure dite en jeu de jacquet.

Le gaz est un mélange de Xe (90%) et de CH^4 (10%) à 1 bar et le détecteur scellé.

La résolution est de 125 à 150µm pour la cellule de 50 mm
et de 75µm pour la cellule de 25 mm.

La résolution en énergie est de 12 à 13 %.

La linéarité en position est de 0,5 % sur tout le fil.

La linéarité en sensibilité est de 2%.

Le taux de comptage maximum est de 10 à 15.000c/s sur tout le détecteur, compte tenu du temps de conversion.

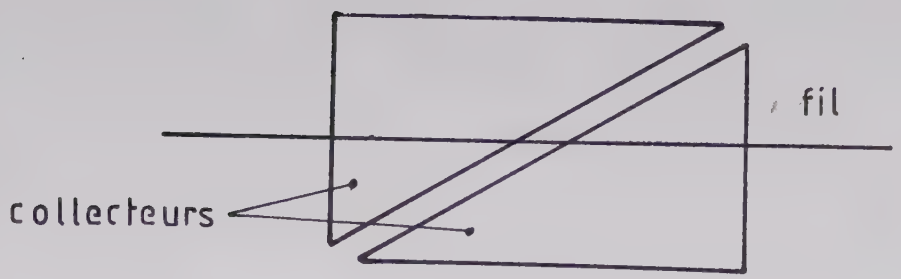
4.1 Détecteur à pointes type Comby

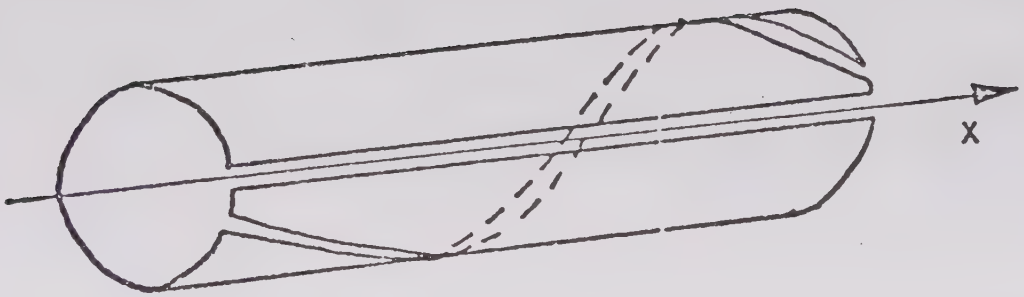
Une plaque isolante métallisée sur ses deux faces est percée de trous dans lesquels passent des aiguilles qui jouent le rôle d'anode.

Vis-à-vis de la face avant métallisée de la plaque isolante, et qui joue le rôle de cathode, se trouve une grille qui délimite le volume utile du détecteur. L'autre face métallisée sert de cathode auxiliaire (Fig.I.11). Ce détecteur travaille dans la zone Geiger. Il y a ionisation sur les pointes. L'impulsion dure une vingtaine de ns ; elle n'est pas proportionnelle à l'énergie du photon incident et sa dispersion en amplitude est importante.

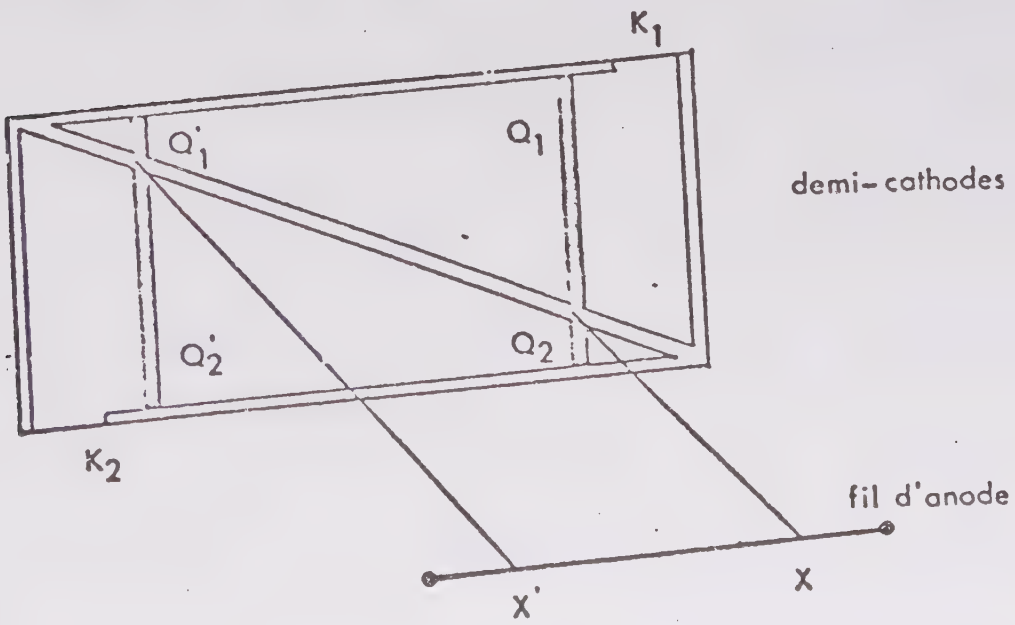
Les pointes sont disposées en retrait dans un bloc isolant et ne peuvent donc pas s'influencer ; ceci rend improbable la bipartition d'un événement.

COMPTEUR type LETI





Cathode découpée en place dans un compteur cylindrique.



Découpage de la cathode et schématisation du principe d
localisation.

fig I.10

$$x = k \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$$

DETECTEUR à POINTES type COMBY

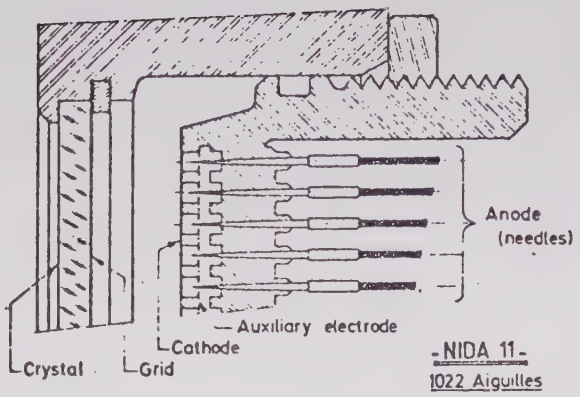


fig I.11

DETECTEUR à PHOTODIODES

type RETICON

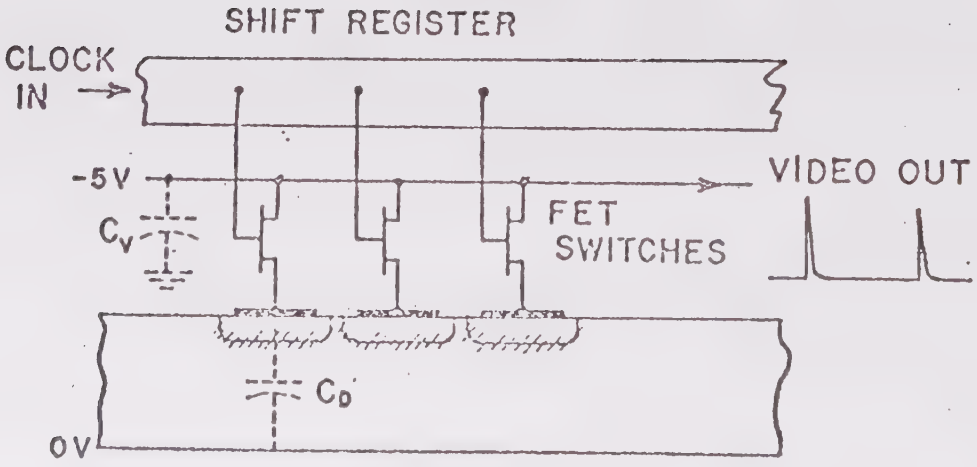


fig I.12

L'intérêt de ce type de détecteur est de pouvoir travailler dans une grande gamme de longueur d'onde en changeant le gaz : méthane pour l'ultraviolet, argon méthane pour les rayons X.

Le temps mort est identique à celui d'un compteur proportionnel.

La résolution est égale au pas des aiguilles. Le minimum est de 1mm.

Selon la disposition des aiguilles, on peut réaliser un détecteur linéaire, de surface ou annulaire en fonction de la géométrie de l'expérience.

La détection de position s'effectue en reliant chaque aiguille soit à une chaîne électronique soit à une ligne à retard.

Ce détecteur devrait permettre, si on le fait travailler comme une chambre à ionisation, d'atteindre une très grande dynamique en reliant chaque point à une capacité et en les lisant par commutation analogique à la manière des CCD (charge coupled device).

4.3 Détecteur à photodiodes

C'est un détecteur solide, travaillant à la température ambiante. Il s'agit de photodiodes qui deviennent conductrices quand elles reçoivent de la lumière. Chacune d'elles est montée en série avec une capacité chargée ; la décharge de la capacité, quand la diode est éclairée, est proportionnelle au flux de photons reçu par la diode.

Les différents systèmes existants sur le marché se distinguent par la méthode de lecture de la charge des capacités.

Ceux utilisés à LURE sont des barrettes RETICON qui opèrent par lecture successive des capacités au moyen de transistors FET (Fig. I.12).

Les avantages et performances de ce type de détecteur sont :

α) il y a intégration du flux pendant le temps de la mesure. L'efficacité est très bonne puisqu'un photon absorbé donne 3.000 électrons, et que la probabilité d'absorption par le silicium est beaucoup plus grande qu'avec un gaz.

β) bien qu'il s'agisse d'un multidétecteur, la méthode du transfert de charge ne nécessite qu'une seule chaîne de mesure pour les 250 à 1000 cellules.

γ) la lecture s'effectue à haute fréquence, 1ms pour 256 cellules, d'où la possibilité de détecter des flux intenses ou à haute fréquence. Il faut toutefois noter que les pertes de charges pendant la lecture augmentent très vite avec la fréquence de lecture.

δ) le courant d'obscurité diminue d'un facteur 2 tous les 7° depuis la température ambiante jusqu'à 0°C.

La résolution est égale au pas des cellules ; elle peut atteindre 25µm.

L'étendue du détecteur est de 1 à 2cm. Cette taille est généralement insuffisante pour les expériences faites à LURE.

La dynamique pratique est de l'ordre de 5.000. Enfin, lors d'une expérience à LURE la limite de saturation d'une cellule qui est de 3.10^{-12} coulomb a été atteinte. Celà correspond à un flux de photons de 10^9/seconde envoyé sur 256 cellules en 1ms.

II - LE DETECTEUR

On peut voir que, par rapport aux exigences des expériences en flux et géométrie, aucun des détecteurs examinés au chapitre précédent ne regroupe de telles performances. C'est pourquoi nous avons choisi la formule du détecteur multifils, travaillant en régime proportionnel. Seul le détecteur à pointes pourrait lui être actuellement comparé, mais il est d'une conception postérieure à celle des chambres multifils, et n'était pas connu quand ce travail a commencé.

1. Fonctionnement

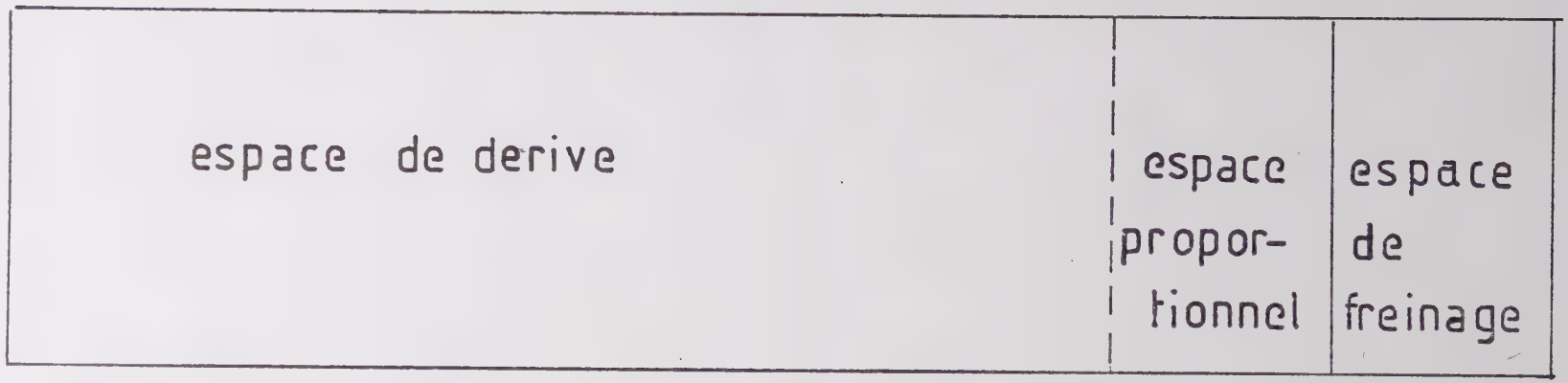
a) Constitution sommaire

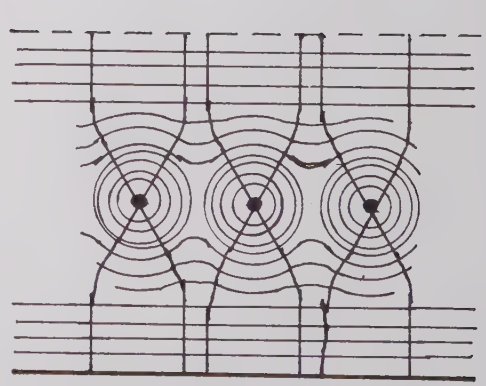
Pour suivre le fonctionnement du détecteur on peut schématiser sa constitution selon la figure II.1.A : une enceinte étanche remplie d'un mélange gazeux comportant une fenêtre d'entrée, une grille, un fil, un fond. La répartition de potentiel est telle que trois zones y sont définies, chacune avec un rôle spécifique : un espace de dérive, un espace proportionnel, un espace de freinage.

b) Processus physique

Un photon incident d'énergie $E = h\nu$ de quelques keV (4 à 12keV) pénètre dans la chambre par la fenêtre d'entrée. En un point quelconque de l'espace de dérive, il est absorbé par le gaz par effet photoélectrique, en produisant un photoélectron d'énergie $(E - E_i)$ et un ion excité d'énergie E_i.

L'ion se désexcite selon deux processus : soit en produisant des électrons Auger, soit en produisant un photon par fluorescence. Dans ce dernier cas, une cascade de photons d'énergie $E_i - E_j < E_i$ est produite par réarrangement interne donnant lieu à ce que l'on nomme le pic d'échappement. Dans le premier cas, l'énergie des électrons Auger est voisine, mais inférieure à $(E_i - E_j)$. Quant au photon électron d'énergie $(E - E_i)$, il perd son énergie par collisions et donne naissance à de nombreux électrons secondaires (son parcours typique est de 120µm à 8keV).





equipotentielles

et

lignes de champ

fig II.1A

Ces électrons restent groupés en raison de l'allure des lignes de champ électrique. Lorsqu'ils arrivent au voisinage immédiat du fil, ils y rencontrent un champ intense à cause du faible diamètre du fil. Il se produit alors une avalanche par ionisation d'où une impulsion électrique négative sur le fil. Le fil se comporte donc comme une anode sur laquelle on capte une impulsion négative.

L'ampleur de l'avalanche, donc l'amplitude du signal, est proportionnelle à l'énergie du photon incident, d'où le nom d'espace proportionnel donné à la région entre grille et fil.

La troisième zone entre fil et fond, compte tenu du sens de la polarité appliquée, interdit aux électrons de l'avalanche de quitter le fil, mais facilite le départ des ions.

c) Les limitations

Les deux processus indiqués de désexcitation de l'ion limitent la précision de la localisation : dans le cas des électrons Auger ils augmentent l'étendue du paquet d'électrons secondaires ; dans le cas du photon de fluorescence, celui-ci peut se reconvertir n'importe où dans le gaz.

Enfin, en raison de l'allure des lignes de champ au voisinage de deux fils voisins (Fig.II.1.A) les électrons de conversion peuvent se diviser en deux parties, pas nécessairement égales et atteindre chacune un fil. On aura donc obtenu pour un seul photon incident une impulsion sur deux fils adjacents, soit donc deux impulsions. C'est pour tenir compte de ce phénomène que l'on a réalisé ce que l'on appellera par la suite l'électronique de logique ou plus brièvement la logique.

On notera enfin que le nuage électronique qui se produit autour d'un fil est accompagné par un nuage d'ions beaucoup plus lents ; celui-ci modifie la répartition de potentiel au voisinage du fil et joue le rôle d'un écran vis-à-vis d'un second nuage électronique qui pourrait se produire au même endroit. La zone du fil ainsi touchée ne peut recevoir une nouvelle avalanche que lorsque les effets de la première ionisation ont disparu.

C'est donc une limitation inhérente à tout détecteur à fil et qui explique pourquoi, lorsqu'un tel détecteur est saturé, le nombre de coups enregistré diminue quand le flux croit.

d) Comportement vis-à-vis du rayonnement synchrotron pulsé

Si deux photons incidents sont diffusés simultanément par l'échantillon en coïncidence avec l'impulsion de lumière, leur conversion dans l'espace de dérive pourra se faire à des endroits différents et ainsi donner lieu à

des impulsions électriques distinctes dans le temps. On aura ainsi un effet d'intégration des événements dans le temps. Si le même fil doit être touché, le gaz conserve la mémoire des deux événements, et permet de prendre en compte une quantité importante d'événements en évitant au fil d'être saturé.

2. Particularité du détecteur

En réalité, c'est d'un multidétecteur dont nous disposons, puisque chaque fil est isolé des autres et possède sa propre chaine électrique.

Ces détecteurs sont distincts : chaque fil travaille en régime proportionnel avec une réponse à un même signal x qui lui est caractéristique. Cette réponse dépend des caractéristiques mécaniques du fil (tension, position, forme du diamètre) et de ses caractéristiques électriques (champ électrique, gain et seuil de l'amplificateur et du comparateur qui lui sont associés).

Ces détecteurs sont couplés les uns aux autres : la partition des électrons de conversion en parties inégales donne lieu à des avalanches d'amplitudes différentes sur des fils voisins. L'amplitude de chaque signal est fonction du lieu où s'est produit la conversion.

Avec les notations de la Figure II.1.B.a le champ électrique (Sauli 1977) est donné par

$$E(x,y) = \frac{CV_o}{2\varepsilon_o s}\left[1+tg^2\frac{\pi x}{s}tgh^2\frac{\pi y}{s}\right]^{1/2}\cdot\left[tg^2\frac{\pi x}{s}+tgh^2\frac{\pi y}{s}\right]^{-1/2}$$

avec la capacité C par unité de longueur de fil

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_o}{\frac{\pi l}{s}-Log\,\frac{\pi d}{s}}$$

d étant le diamètre du fil.

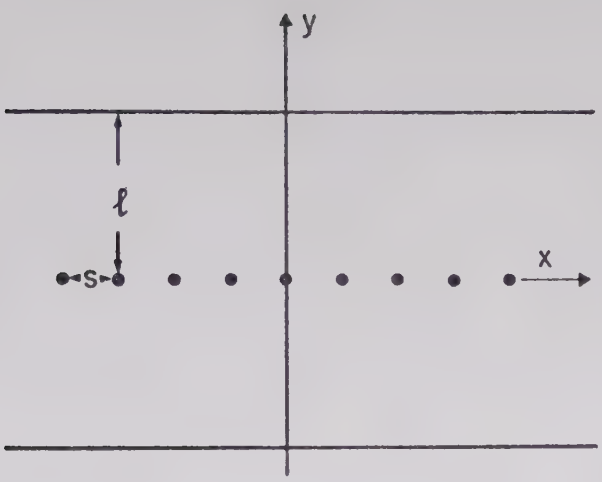
Il en résulte que

pour $y<<s$ $\quad E(x,y) \simeq \frac{CV_o}{2\pi\varepsilon_o}\cdot\frac{1}{(x^2+y^2)^{1/2}}$

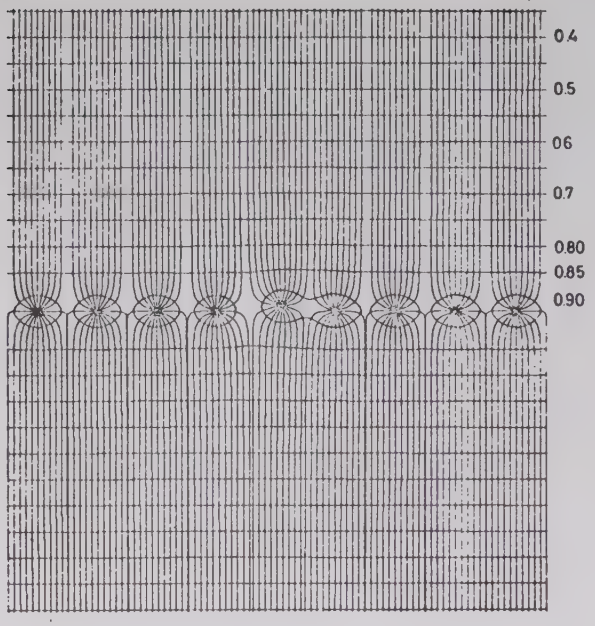
et pour $y\gg s$ $\quad E(y) = \frac{CV_o}{2\varepsilon_o s}$

Le champ électrique est constant à une distance égale ou supérieure à l'espacement des fils. De plus, le champ électrique sur l'axe des Oy

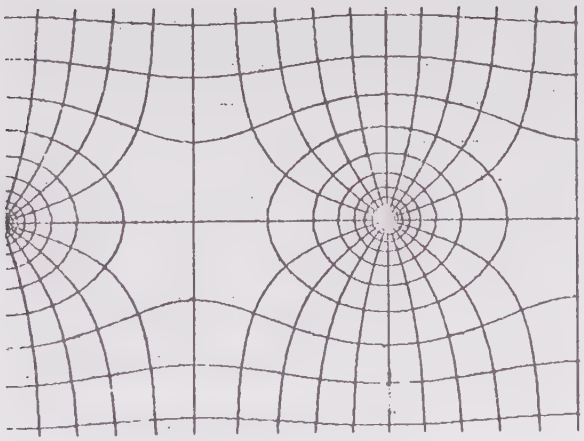
$$E(o,y) = \frac{CV_o}{2\varepsilon_o s}\cdot\coth\frac{\pi y}{s}$$



a) définition des paramètres d'un détecteur proportionnel multifils. Fils anodiques entre deux cathodes planes.



b) champ électrique dans le détecteur et effet du déplacement d'un fil.



c) champ électrique au voisinage des fils. espacement 2mm, diamètre des fils 2µm.

fig II.1B d'aprés Sauli 1977

et le champ électrique sur un axe vertical équidistant de deux fils

$$E\left(\frac{s}{2},y\right) = \frac{CV_o}{2\varepsilon_o s}$$

sont différents de 9 % pour y = s/2 et 0,3 % pour y = s.

On voit donc que les électrons de conversion peuvent choisir un chemin qui les conduit soit à un fil, soit à un autre, soit à plusieurs, en fonction de l'endroit où ils ont été produits. Il en résultera pour le même événement des avalanches sur des fils distincts d'amplitude proportionnelle à la division de charge des électrons de conversion.

Nous aurons donc à tenir compte à la fois d'une disparité de réponses vis à vis d'un même flux photonique tout au long du détecteur et du fait qu'un photon unique peut engendrer un signal sur un ou plusieurs fils.

Ces deux effets ne sont pas indépendants, car une disparité de réponses peut renforcer ou atténuer l'effet de partition des électrons de conversion.

Les solutions à ces problèmes sont la normalisation des spectres et l'utilisation de la logique.

3. Description

Le détecteur, ou chambre à fils à une dimension a été construit au CERN par l'équipe de G. CHARPAK.

Montée dans un support isolant en Stésalite, la chambre comprend les parties suivantes (Figure II.2 et Photos II.1 et II.2) :

- un cadre de 600 fils de 2cm de haut espacés de 1mm, dessinant une portion de cylindre de 60cm de rayon, correspondant à une ouverture angulaire de 57° environ. Les fils sont en inox de 20 microns de diamètre.
- une fenêtre d'entrée, en Mylar aluminisé dont l'ouverture verticale est de 15mm.
- une grille équipotentielle constituée de fils croisés à 45° pour éviter "l'ombrage" des fils actifs.
- un plan équipotentiel en feuille d'aluminium fermant la chambre à l'arrière.

La Figure II.2 montre les potentiels appliqués et les différentes parties de la chambre. Les fils connectés aux amplificateurs sont au potentiel zéro (-0,6V correspondant à la polarisation de l'étage d'entrée de l'amplificateur). La grille, ainsi que le plan arrière, sont distants

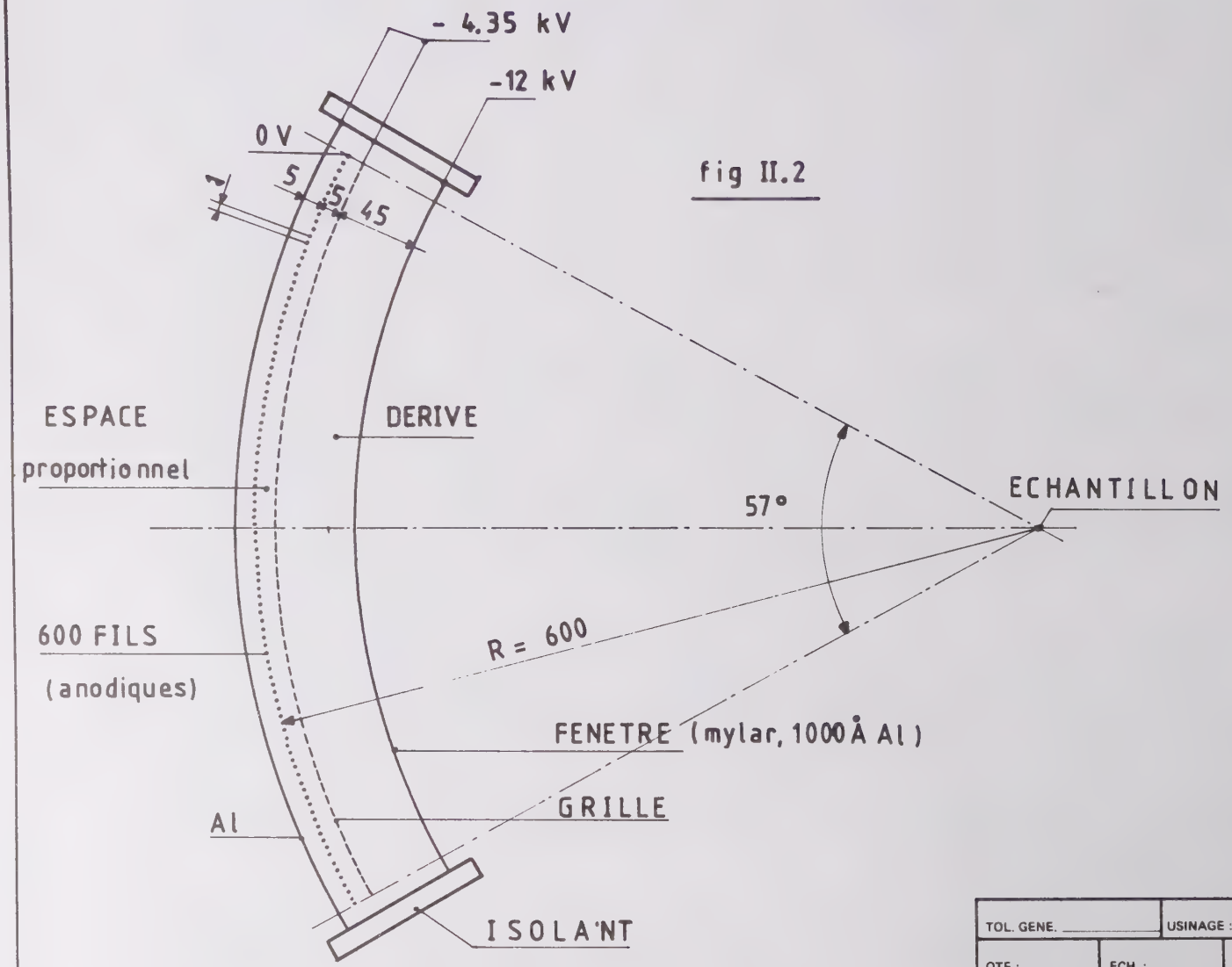


fig II.2

TOL. GENE.	USINAGE :		MATIERE :
QTE :	ECH. :	DATE :	TRAIT. :
DETECTEUR			

L.U.R.E. 91406 ORSAY CEDEX — MOD. 1027 - DARNAY - S. PARIS

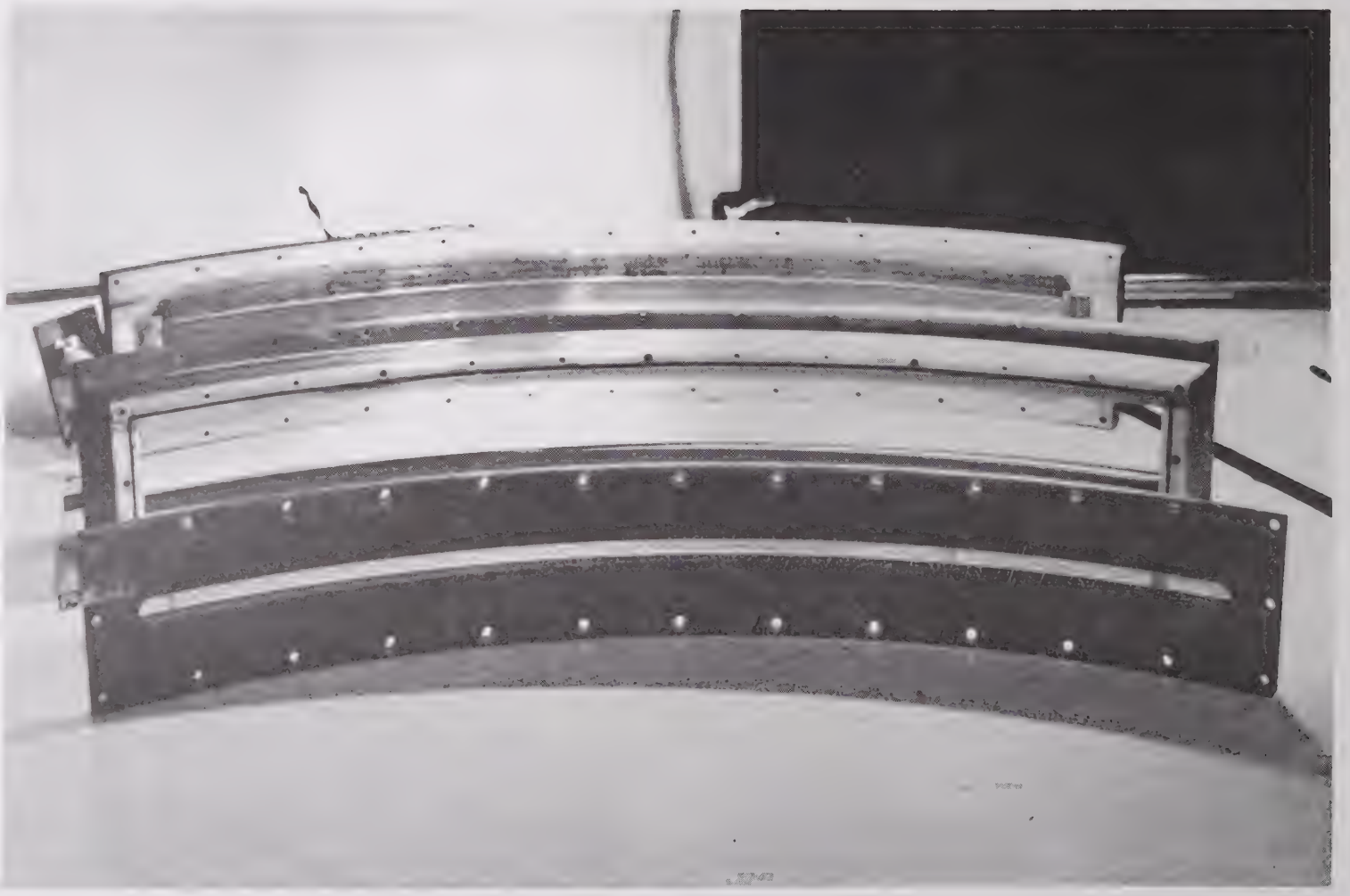


PHOTO II.1 VUE ECLATEE DU DETECTEUR

D'avant en arrière : fenêtre d'entrée, isolant délimitant l'espace de drift
et sur lequel se fixe la grille, circuit imprimé portant les fils

PHOTO II.2 CIRCUIT IMPRIME PORTE FILS

Les fils sont disposés verticalement tous les millimètres, leur diamètre (20 µm) ne permet pas de les distinguer.

l'un et l'autre de 5mm des fils et portés à -4,35kV environ. La fenêtre d'entrée placée à 45mm de la grille est portée à -12kV. L'espace entre la fenêtre d'entrée et la grille constitue l'espace de dérive ; c'est là que s'effectue la conversion photon → électron.

L'espace entre grille et fils constitue l'espace proportionnel ; c'est dans cette zone, au voisinage immédiat des fils où le champ électrique est intense, que se produit l'avalanche qui fournit une quantité de charges électriques proportionnelle à l'énergie du photon incident. On récupère ainsi sur le fil touché une impulsion négative.

Le gaz utilisé est un mélange d'Argon, d'isobutane et de méthylal (24 à 26 % d'isobutane, 2 à 3 % de méthylal, complété par de l'Argon). La chambre est balayée en permanence par ce mélange.

La connexion des fils avec l'extérieur s'effectue par l'intermédiaire d'un circuit imprimé sur lequel sont soudés des connecteurs à 96 contacts,

un fil sur deux (canaux pairs) est relié aux connecteurs du haut
un fil sur deux (canaux impairs) est relié aux connecteurs du bas.

Un connecteur correspond ainsi à 64 fils, la dernière rangée de contacts constituant un plan de masse sur lequel sont connectés les blindages des fils coaxiaux qui vont des fils à l'entrée des amplificateurs.

Ces cables sont groupés en deux torons de 32 fils longs de 4m.

III - L'ELECTRONIQUE

1. L'ensemble du montage

La Figure III.1 montre sous forme de schéma-bloc l'ensemble de la chaine de mesure et d'acquisition. La photo III.1 en donne une vue d'ensemble.

Outre la chambre elle-même, on peut distinguer trois parties : l'électronique analogique, l'électronique digitale, l'ensemble de l'ordinateur et de ses périphériques dont nous décrirons le logiciel.

2. L'électronique analogique

Elle amplifie les signaux électriques produits sur les fils et assure leur discrimination en amplitude.

Elle comporte un certain nombre de chassis, fournis par le CERN, destinés à équiper les fils de la chambre. Chaque chassis est constitué d'une carte en circuit imprimé équipant 32 fils (*).

Les voies de mesure sont regroupées par paires (Figure III.2).Un amplificateur de charge, de technologie hybride, réalisé par la société ALCATEL, à sortie symétrique de sensibilité égale à 112mV/pCb attaque par couplage capacitif un comparateur 75108 (Figure III.3). Une des entrées du comparateur est réunie à un pont de polarisation définissant ainsi une tension de seuil au-dessous de laquelle les impulsions amplifiées ne sont pas transmises.

Le règlage Vs est unique pour l'ensemble de tous les comparateurs.

Si le signal est d'un niveau suffisant, le comparateur délivre une impulsion dont le front descendant déclenche un monostable ; celui-ci à son tour fournit une impulsion via un transistor à émetteur suiveur à l'intention de l'électronique digitale d'acquisition.

La proximité des voies sur une carte est telle que l'on retrouve à l'entrée de chaque amplificateur les fronts dérivés descendant et montant du monostable en train de basculer. L'amplitude de ce signal décroit avec l'éloignement

---

(*) à partir d'une étude faite au CERN par J.C. SANTIARD CERN/EP/JCS/ef 7 octobre 1976

ELECTRONIQUE

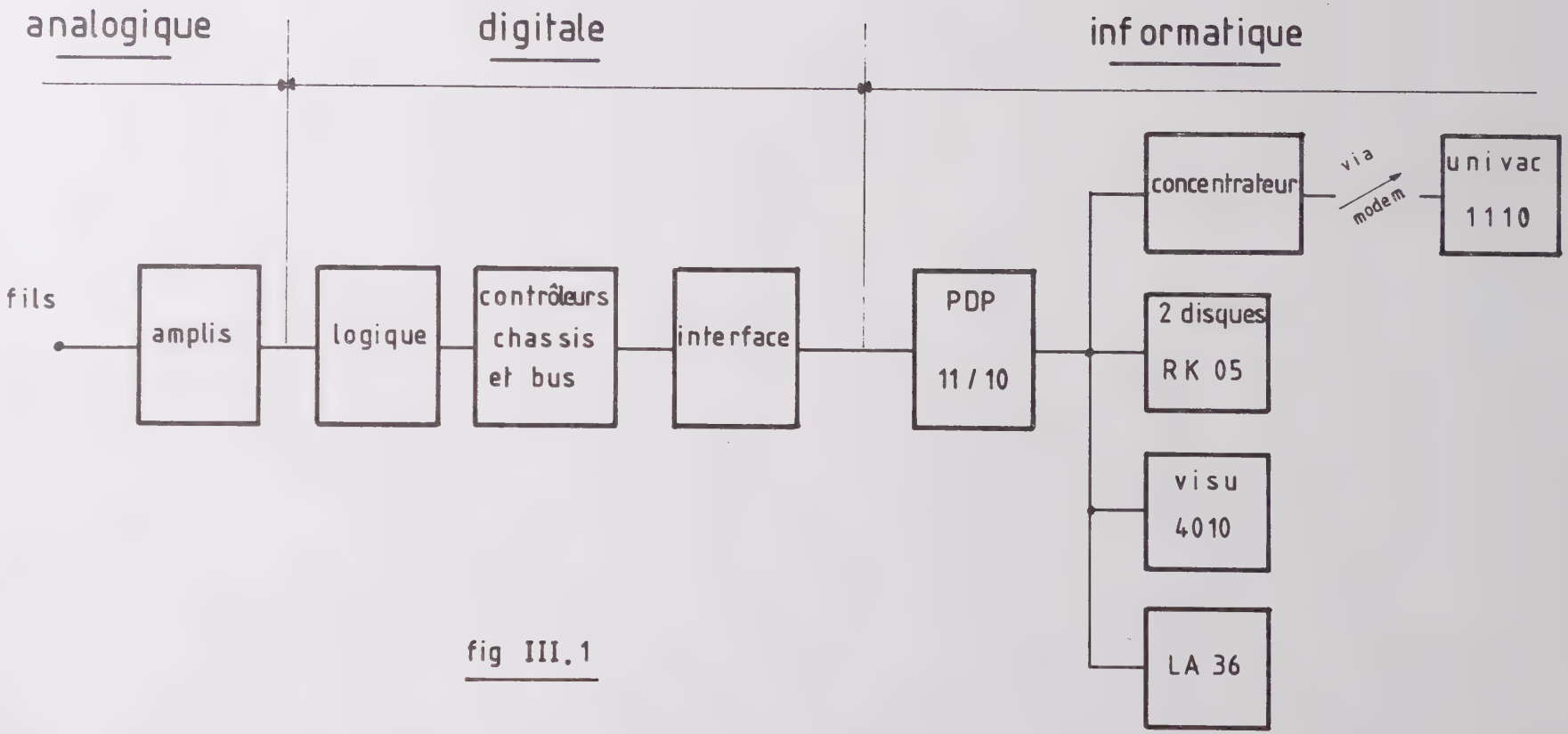


fig III.1

TOL. GENE.	USINAGE :	MATIERE :
QTE :	ECH. :	DATE :
SCHEMA GENERAL		TRAIT. :

L.U.R.E. 91406 ORSAY CEDEX — MOD. 1027 - GARNAY - S. PARIS

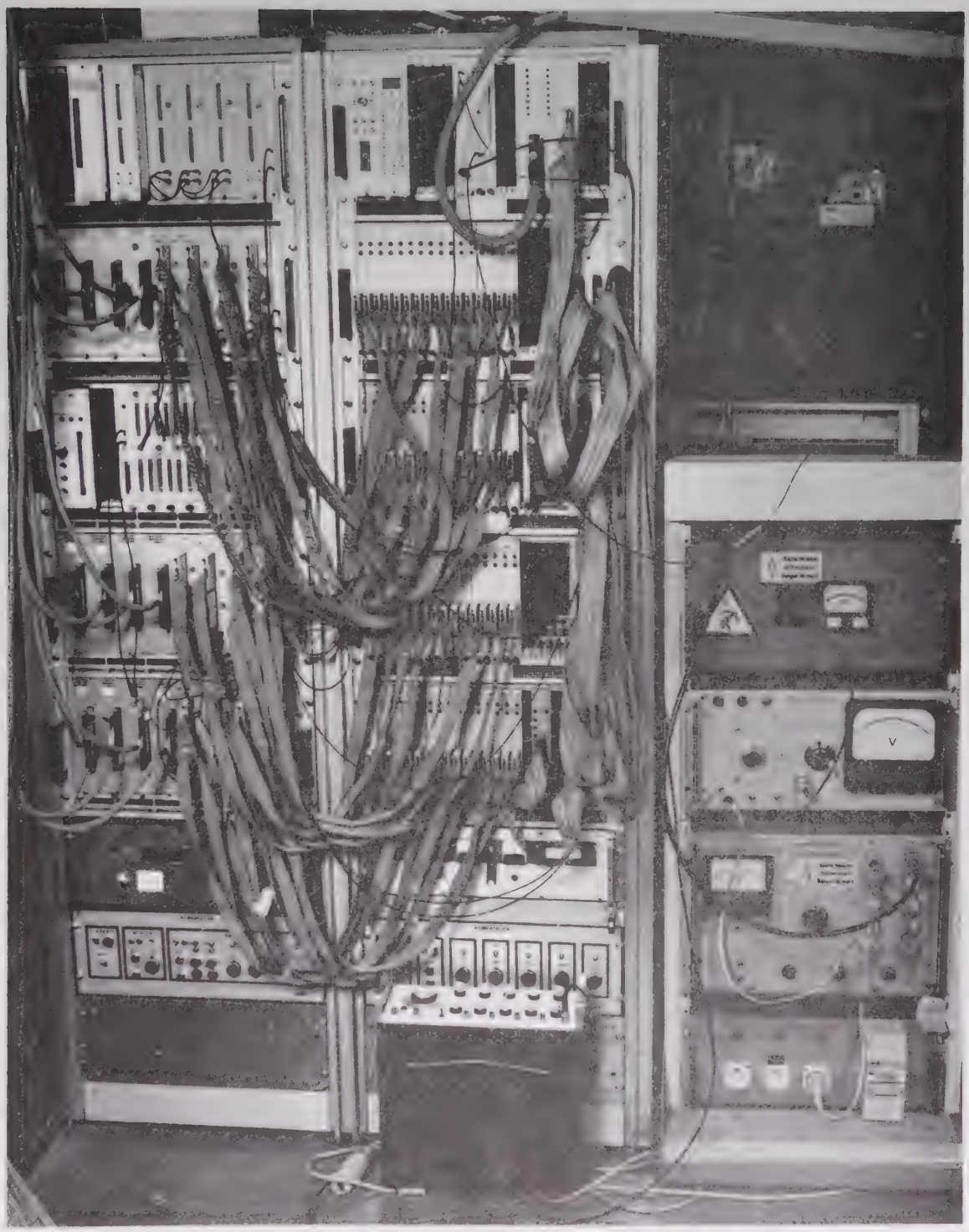


PHOTO III.1 VUE D'ENSEMBLE DE L'ELECTRONIQUE

armoire de gauche : électronique analogique, logique et multiplexeur

armoire de droite : compteurs avec leur contrôleur de chassis, le contrôleur de bus et l'interface sont dans le rack supérieur

porte-rack : hautes tensions du détecteur et µA de contrôle du courant de l'espace proportionnel.

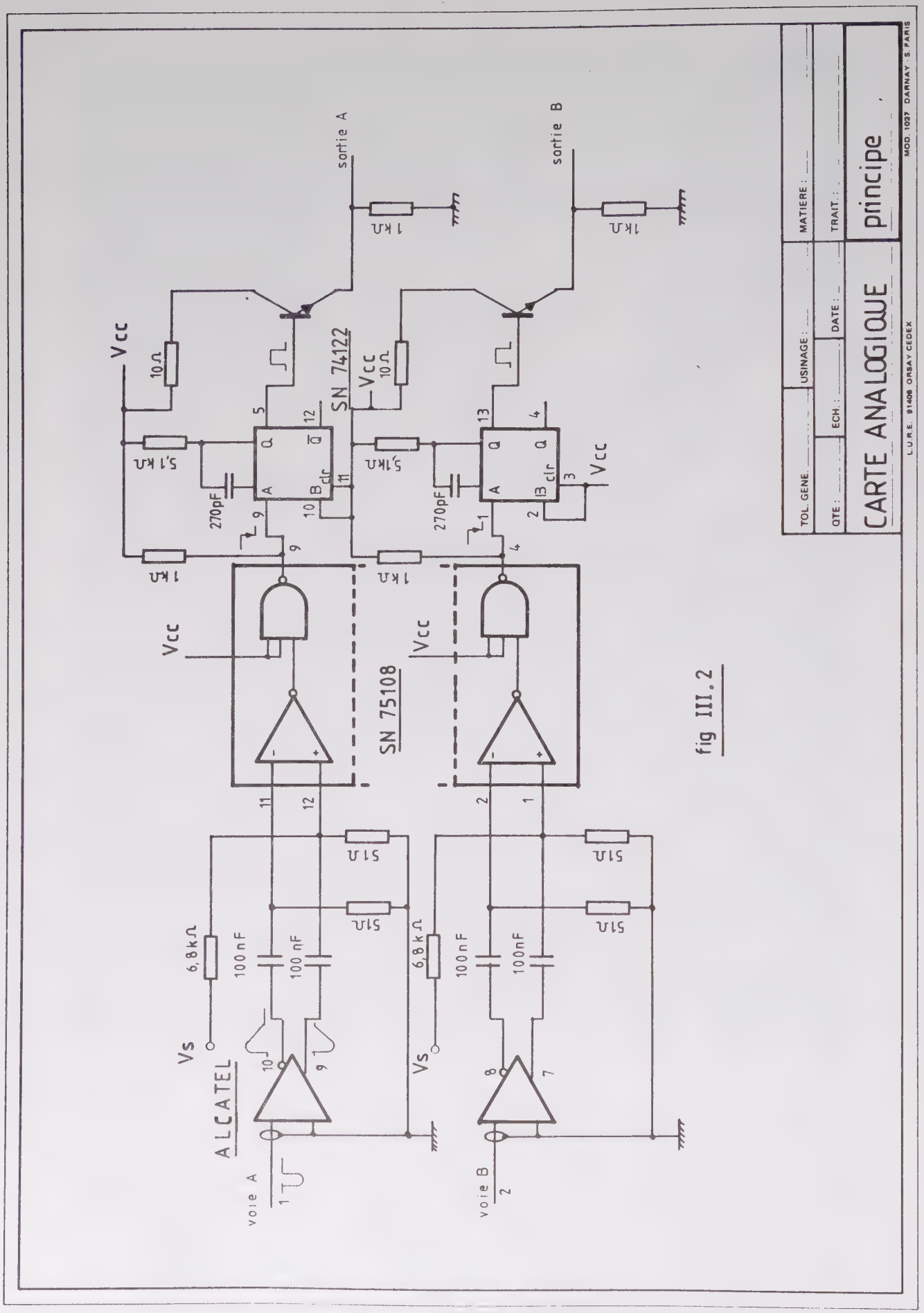

sortie A
sortie B
Vcc
10Ω
SN 74122
1kΩ
5,1kΩ
270pF
100nF
6,8kΩ
51Ω
SN 75108
ALCATEL
Vs
voie A
voie B
TOL. GENE.
USINAGE :
MATIERE :
QTE :
ECH :
DATE :
TRAIT. :
CARTE ANALOGIQUE
principe
L.U.R.E. 91406 ORSAY CEDEX
MOD. 1027 DARNAY - S. PARIS

fig III.2

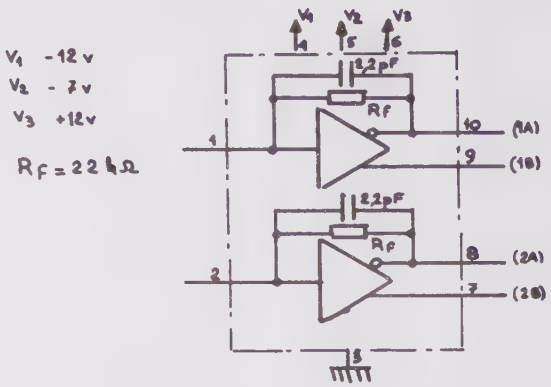
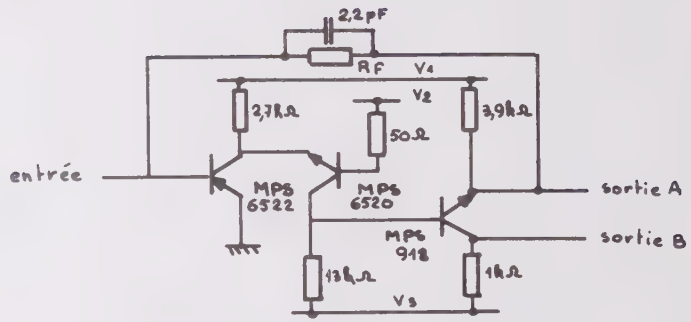


fig III.3



TOL. GENE.	USINAGE :	MATIERE :
QTE :	ECH. : / DATE :	TRAIT. :
AMPLIFICATEUR	de CHARGE	

L.U.R.E. 91406 ORSAY CEDEX
MOD. 1027 - DARNAY - S. PARIS

du circuit considéré. Le bon fonctionnement de l'ensemble de la carte nécessite que la durée de l'impulsion du monostable soit supérieure à la constante de temps de l'amplificateur de charge correspondant. On évite ainsi un déclenchement intempestif du monostable par suite de la superposition du front descendant du signal de sortie de l'amplificateur de charge aux signaux parasites des circuits voisins.

Un règlage satisfaisant est obtenu à partir d'une durée d'impulsion du monostable de l'ordre de 900ns ; ceci permet donc un taux de comptage maximum par voie légèrement supérieur à 1MHz.

Le règlage du seuil Vs à l'entrée du comparateur permet de s'affranchir des signaux parasites de faible amplitude produits par les amplificateurs ; faute d'un règlage individuel il n'est pas possible d'obtenir une égalisation de la réponse des voies. La valeur optimum se situe entre 5V et 7,5V.

3. Electronique digitale d'acquisition

Elle a pour fonction de traiter les événements doubles avec la logique, de comptabiliser les événements se produisant sur le détecteur, et de gérer les données accumulées.

Elle est articulée selon le schéma bloc de la figure III.4.

Les signaux TTL provenant de l'électronique analogique entrent dans les tiroirs de logique, puis sont acheminés sur des tiroirs compteurs.

Les tiroirs compteurs ou "cartes huit fils" sont regroupés par 16 dans un chassis Camac et commandés par un contrôleur de chassis.

Les contrôleurs de chassis sont eux-mêmes commandés par un contrôleur de bus. Celui-ci dialogue avec un ordinateur Digital Equipement PDP 11/10 à travers la carte standard d'accès direct mémoire DRIIB via un tiroir d'interface.

La norme Camac est utilisée pour la mécanique et l'existence d'un Dataway de liaison entre les tiroirs d'un même chassis ; elle ne l'est pas pour ce qui concerne les signaux électriques sur le Dataway.

3.1. Les tiroirs de logique

a) But de la logique

On a vu que le nuage électronique d'électrons secondaires résultant de la conversion du photon incident peut donner lieu simultanément à une avalanche sur deux fils voisins. Le but de la logique est de faire correspondre à un photon incident une impulsion unique.

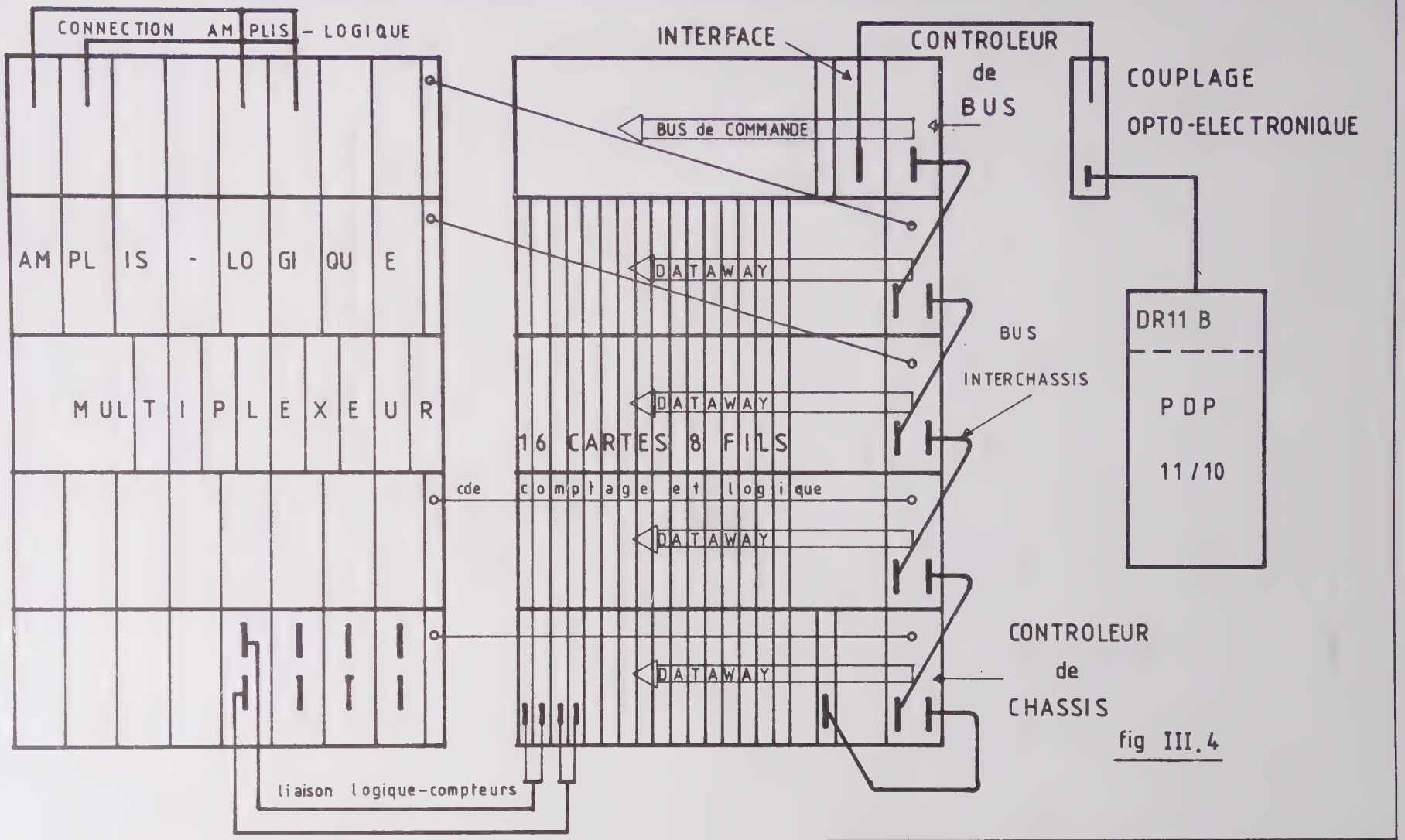


fig III.4

TOL. GENE.	USINAGE :	MATIERE :
QTE :	ECH. : DATE :	TRAIT. :

ELECTRONIQUE DIGITALE

L.U.R.E. 91406 ORSAY CEDEX
MOD. 1027 - GARNAY - S. PARIS

b) Principe

Le principe retenu consiste à compter deux coups si un seul fil est touché et de compter un coup par fil lorsque deux fils voisins sont touchés simultanément. On considère qu'il y a simultanéité, donc partition du nuage électronique, si deux fils voisins délivrent chacun une impulsion dans un intervalle de temps inférieur à 70ns.

c) Fonctionnement

La Figure III.5 schématise le montage pour trois fils consécutifs A_{i-1}, A_i, A_{i+1}.

Quand une impulsion arrive sur le fil A_i, son front montant déclenche le monostable M. Celui-ci fournit une impulsion sur ses sorties Q et $\bar{Q}$ si sa commande "clear" n'est pas mise à zéro par la commande de comptage. Une première impulsion traverse donc le NAND de sortie et apparaît en S_i (que la commande de la logique soit active ou non).

Si le fil voisin A_{i-1} et/ou A_{i+1}, a reçu une impulsion en même temps que A_i, la sortie du NOR d'entrée passe à zéro et le monostable M' est inhibé par le ET de commande. La sortie S_I délivre une seule impulsion.

Si aucun des voisins n'a été touché, M' est actif et le front descendant de la première impulsion sortant de M en Q le fait déclencher à son tour. Il en résulte une impulsion qui traverse le OU et le NAND de sortie, si la logique est activée, puisque la première entrée du NAND est revenue à 1, l'impulsion venant de M ayant fini de le traverser, on obtient dans ce cas deux impulsions sur la sortie S_I.

On voit que pour tenir compte de la simultanéité d'événements, il faut que le second monostable M' soit inhibé avant le front descendant de l'impulsion venant de M, c'est-à-dire avant un temps correspondant à

(traversée du monostable + durée de l'impulsion du monostable M)

- (traversées du NOR et du ET).

Le graphique Figure III.6 donne la durée et l'amplitude de la seconde impulsion en fonction du temps t_o séparant les fronts montants des impulsions apparaissant en A_i et A_{i+1}. Les valeurs asymptotiques correspondent à une impulsion normale à la sortie du monostable M' (durée 58ns - amplitude 4V). On voit qu'en dessous de 70ns on n'aura qu'une seule impulsion.

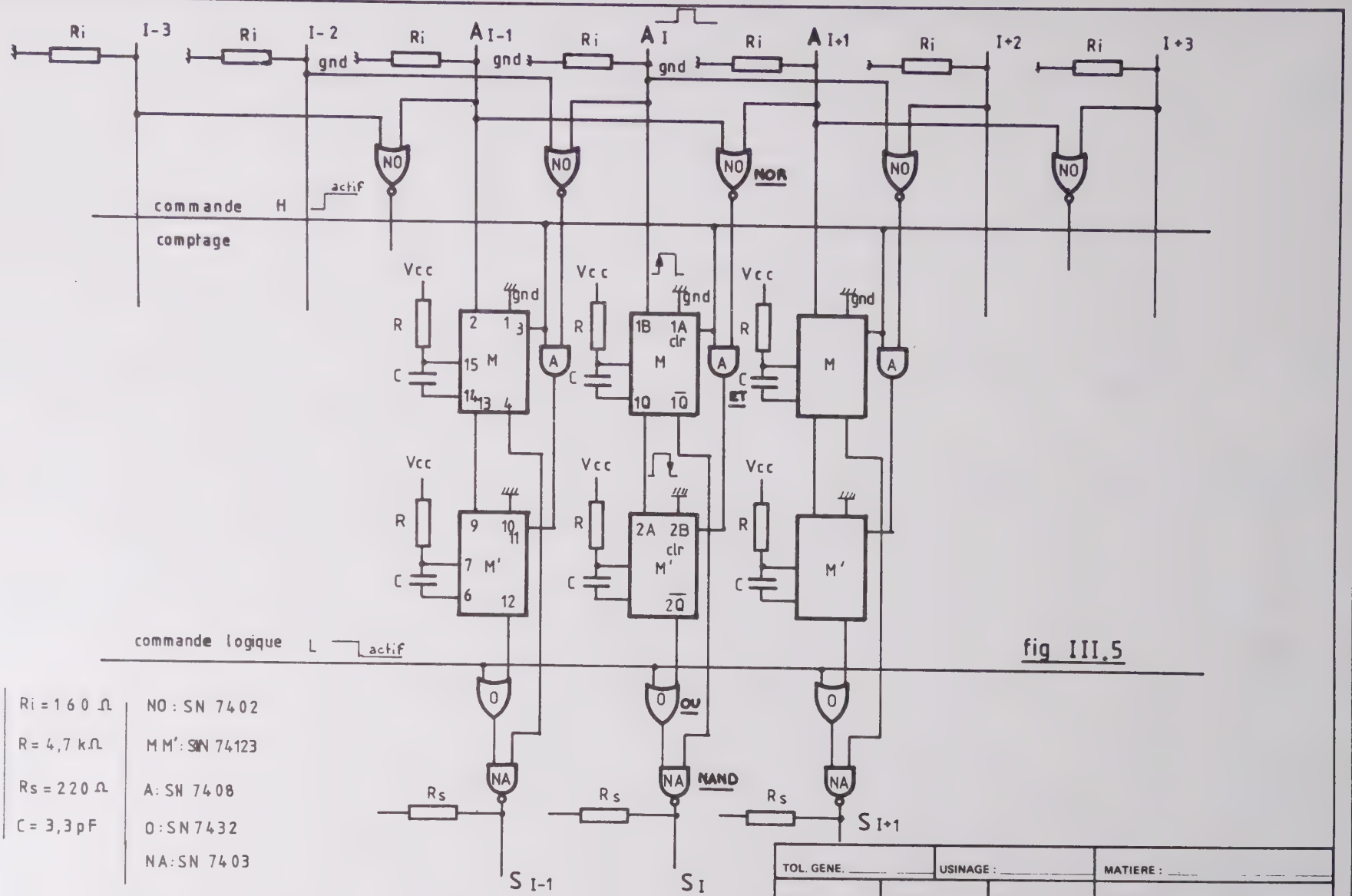

Ri
I-3
I-2
A I-1
A I
A I+1
I+2
I+3
gnd
NO
NOR
commande H
actif
comptage
Vcc
R
C
M
M'
A
ET
clr
commande logique L
actif
O
OU
NA
NAND
Rs
S I-1
S I
S I+1
Ri = 160 Ω
R = 4,7 kΩ
Rs = 220 Ω
C = 3,3 pF
NO : SN 7402
M M' : SN 74123
A : SN 7408
O : SN 7432
NA : SN 7403
TOL. GENE.
USINAGE :
MATIERE :
QTE :
ECH. :
DATE :
TRAIT. :
LOGIQUE
L.U.R.E. 91406 ORSAY CEDEX
MOD. 1027 - DARNAY - S. PARIS

fig III.5

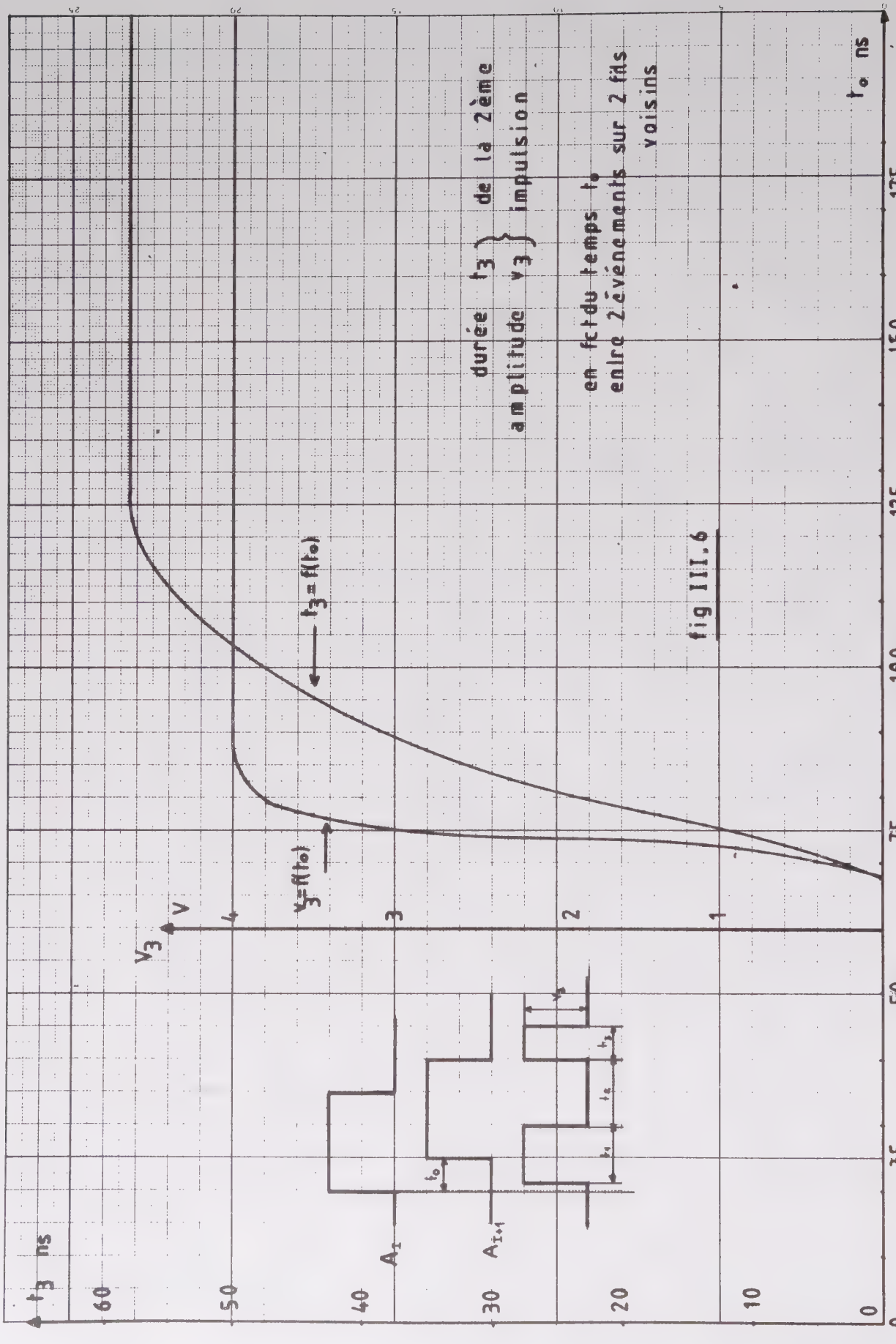


fig III.6

LES PAPIERS CANSON - FRANCE

Le cablage à l'arrière des chassis de logique qui les relie aux sorties des tiroirs analogiques tient compte de la position des fils dans la chambre, de manière à ce que les signaux de fils voisins entrent dans des circuits digitaux voisins. Ainsi l'entrée A d'une voie de logique affectée au fil i voit les entrées voisines affectées aux fils i-1 et i+1 respectivement.

Le système détectant des fronts n'est pas sensible à la durée des impulsions fournies par les monostables de la partie analogique.

Chaque tiroir logique équipe 32 voies.

3.2 Carte 8 fils

Elle assure la fonction comptage de huit fils. Elle comporte, pour chaque fil, deux compteurs binaires 2N74 393 de 8 bits chacun, portant ainsi la capacité de comptage à $2^{16}-1$ par fil ; on parlera par la suite d'un compteur de 16 bits par fil.

On y trouve également des circuits de commande et de contrôle permettant de réaliser les fonctions suivantes :

mise à zéro des compteurs d'un fil,
mise à zéro de tous les compteurs,
lecture du contenu des compteurs d'un fil,

et les contrôles suivants :

appels en interruption si les fonctions mises à zéro ne se réalisent pas (appel BR) ou si, en mode d'acquisition, le contenu du compteur d'un fil atteint 65 280 (8 bits de plus fort poids à 1). Il s'agit dans ce cas d'un appel dit LAM ou NPR demandant le transfert des données en DMA.

A noter que les fonctions individuelles ne sont exécutées que si la carte et le fil correspondants sont adressés.

3.3 Les contrôleurs de chassis

Chacun des contrôleurs de chassis gère 16 cartes huit fils et 4 tiroirs de logique.

Il décode les différentes fonctions que peuvent réaliser l'ensemble des compteurs et de la logique, ainsi que l'adressage correspondant à un fil, donc à son compteur 16 bits, pour la lecture ou la mise à zéro. Il fournit aux tiroirs logiques correspondant aux cartes huit fils dont il a la gestion, les deux commandes "comptage" et "logique".

Ainsi, outre les fonctions de lecture et d'effacement individuel ou collectif, il permet deux modes d'acquisition : comptage avec logique, comptage sans logique. Il permet, en outre, la lecture permanente du compteur d'un fil pour réaliser la fonction d'acquisition en valeur prédéterminée que gère le contrôleur de bus.

Par le contrôleur de chassis transitent les appels en interruption des cartes huit fils en direction de l'interface et il les complète par l'adresse de la carte qui a fait l'appel, ainsi que par sa propre adresse de façon à permettre une identification rapide de la zone d'appel. Il communique avec les 16 cartes huit fils par les lignes du Dataway qui sont :

16 lignes bus de données,
16 lignes d'adresse individuelles des cartes,
3 lignes bus d'adresse des compteurs,
3 lignes bus de fonctions,
1 ligne d'appel Q,
16 lignes d'appel individuel LAM,
1 ligne bus S1 d'ordre d'exécution de fonction (GO).

Enfin, il élabore à l'intention du contrôleur de bus les appels en interruption codés P1 et X s'il ne transmet pas pour exécution, aux tiroirs dont il a la charge, les ordres "comptage" ou "logique" qu'il vient de recevoir.

3.4 Le contrôleur de bus

Il a pour but d'assurer la liaison entre les contrôleurs de chassis et l'interface. Par lui transitent les signaux codés des fonctions et les signaux d'adressage à l'intention des chassis d'acquisition.

De même, transitent par lui les 16 bits de données, ainsi que les signaux d'appel BR (P1, X, Q) ou NPR (LAM) à l'intention de l'interface.

Dans ce dernier cas, il a en outre pour rôle de mémoriser ces appels ainsi que l'adresse de la zone appelante jusqu'à ce que l'interruption correspondante soit traitée. En effet, tout appel ne peut se produire qu'à partir du moment où la commande GO d'exécution de la fonction est envoyée et, lorsqu'un appel se produit, l'interface interrompt immédiatement l'exécution de la fonction en cours, avant même que l'ordinateur puisse honorer l'appel en interuption.

Enfin, c'est le contrôleur de bus qui permet de réaliser une acquisition en mode prédéterminé. Ce mode consiste à faire cesser l'acquisition dès que le contenu d'un compteur d'un fil choisi à l'avance (fil prédéterminé) atteint une valeur choisie à l'avance (valeur prédéterminée).

A cette fin, le contrôleur de bus dispose d'un comparateur binaire de 16 bits, qui compare la valeur prédéterminée à atteindre, et qu'il a mémorisée au début de l'ordre d'acquisition, au contenu du compteur choisi qu'il a mis en lecture permanente en activant les lignes de fonction et d'adresse correspondantes.

Lorsque l'égalité est atteinte, il envoie un appel LAM à l'interface qui stoppe l'acquisition. On peut ainsi obtenir l'égalité entre la valeur demandée et la valeur obtenue à un coup près, même pour une cadence d'acquisition, à l'entrée de la logique, de plus de 5 MHz.

La liaison avec les contrôleurs de bus se fait par l'intermédiaire d'un "bus interchassis" qui chemine sur la face avant des chassis jusqu'à un tiroir final dit d'adaptation du bus.

La liaison avec l'interface se fait par l'intermédiaire du "Dataway" du chassis Camac, dans lequel sont logés le contrôleur de bus et l'interface. Là non plus les signaux d'échange ne sont pas aux normes Camac.

3.5 L'interface

Elle réalise l'adaptation entre les signaux que peut fournir ou recevoir le tiroir standard d'accès direct mémoire DRIIB de Digital Equipement dont est pourvu le PDP 11/10 affecté à la chambre à fils, et le contrôleur de bus. La liaison se fait à travers un tiroir de coupleurs opto électroniques de façon à réaliser l'isolement galvanique entre les circuits de l'ordinateur et ceux de la chambre à fils.

Sans entrer dans les détails des échanges entre le DRIIB et l'interface, on va en résumer l'essentiel.

Il faut noter à ce point, qu'ont été menées de pair la réalisation de l'électronique d'acquisition et l'écriture du logiciel puisque les différentes fonctions sont activées à partir de la console système et que les conceptions de ces deux parties sont étroitement interdépendantes, compte tenu de la structure du DRIIB.

Le DRIIB apparaît essentiellement à partir de la console système comme un ensemble de 4 registres de 16 bits dont chacun d'eux correspond soit directement, soit indirectement, à un signal reçu ou émis par l'interface.

La Figure III.7 indique les principaux échanges possibles entre l'interface et le DRIIB, ainsi que leur sens. La Figure III.8 est un schéma bloc de l'interface qui met en évidence les différentes fonctions qu'elle doit réaliser, ainsi que ses signaux d'échange avec le DRIIB d'un côté, et avec le contrôleur de bus de l'autre.

Registres	Bits du registre	Sens de l'échange	Nature de l'information
DRDB registre de données	0 à 15 DAT OUT	→	adresse d'un compteur
		→	contenu imposé d'un compteur
	0 à 15 DAT IN	←	contenu lu d'un compteur
DRST registre d'état	ATN	←	appel en interruption
	DSTAT A, B, C	←	état de l'interface
	FNCT 3, 2, 1	→	codage des fonctions
	GO	→	ordre d'exécution de la fonction
DRBA registre d'adresse	chargé par Soft, contient l'adresse de la première case mémoire où sera transféré le contenu du compteur zéro. S'incrémente à chaque nouvelle donnée.		
DRWC registre compteur de mots	chargé par Soft en complément à 2 du nombre de données à transmettre. Active WCOF quand il passe à zéro.		
Autres signaux importants	INITIALIZE	→	initialisation du système
	C_0, C_1		
	BA INC ENB	←	paramètres du DMA
	WC INC ENB		
	SINGLE CYCLE	←	signaux de dialogue en DMA
	CYCLE REQUEST A	←	
	CYCLE REQUEST B	←	
	END CYCLE	→	
	WCOF	→	

fig III.7

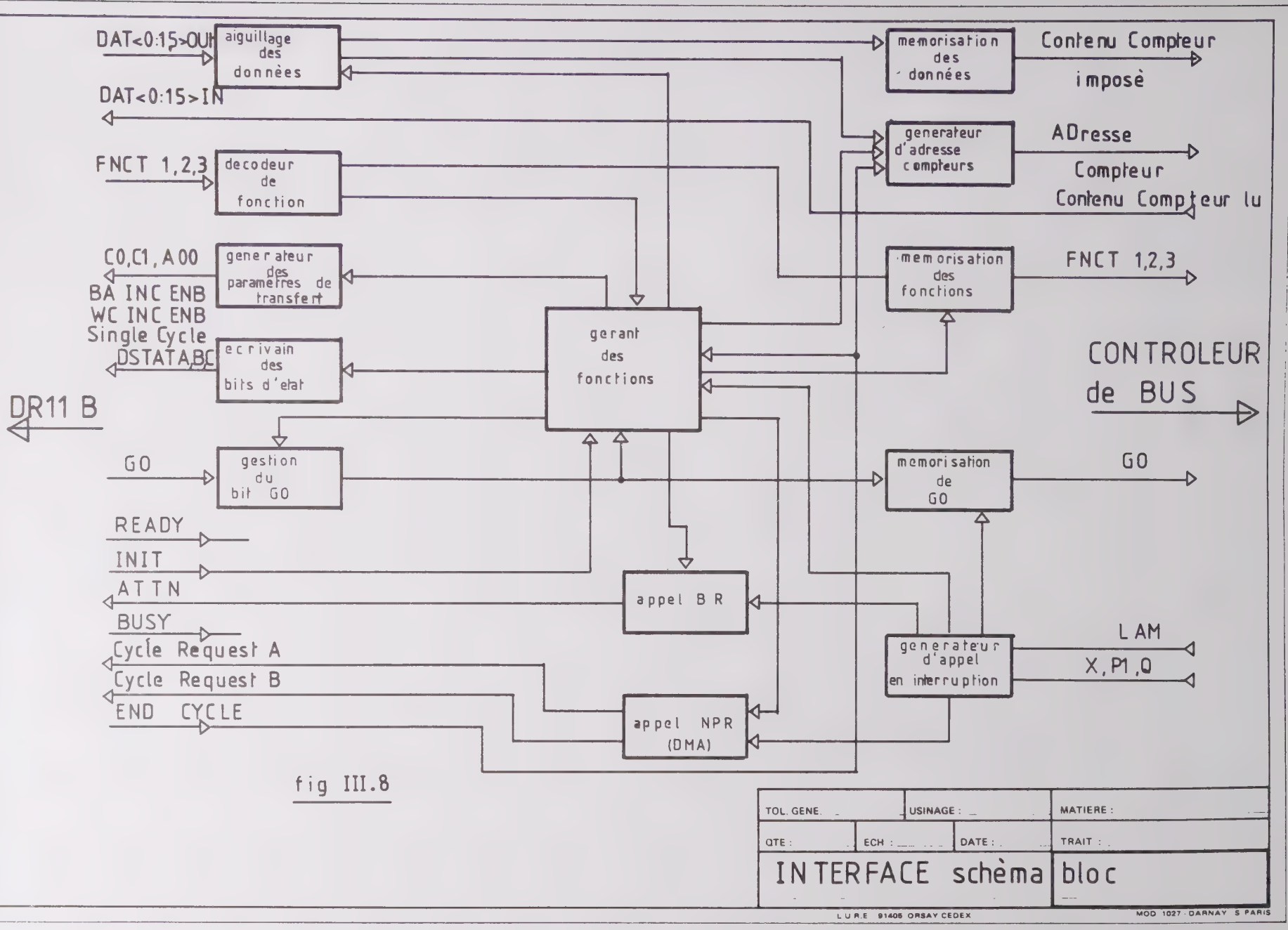


fig III.8

TOL. GENE.	USINAGE :		MATIERE :
QTE :	ECH :	DATE :	TRAIT :
INTERFACE schèma			bloc

L.U.R.E 91405 ORSAY CEDEX

MOD 1027 - DARNAY S PARIS

Le fonctionnement de l'électronique peut être séparé en deux parties :

a) Réception d'un ordre en provenance du DRIIB

Un ordre est émis sous forme d'un codage des bits fonctions du registre DRST à l'adresse de l'interface. Celle-ci doit le décoder, le mémoriser et le transmettre pour activation au contrôleur de bus. On peut distinguer deux types d'ordre, ceux dits "à une passe" dont le codage peut être suivi directement de l'ordre d'exécution, et ceux dits "à deux passes", dont le codage doit être complété par la fourniture d'une donnée (cas des fonctions prédéterminées) avant que l'ordre d'exécution ne soit donné. La Figure III.9 schématise ce type de structure.

Enfin, l'envoi de l'ordre se termine par sa commande d'exécution sous forme de mise à 1 du bit GO du registre DRST. Ce bit GO est mémorisé par l'interface et transmis à l'électronique. Il assure par la permanence de sa présence la continuité de l'exécution de la fonction jusqu'à son achèvement.

b) Appel en interruption

L'interface peut émettre deux types d'appel lorsqu'un ordre vient de lui être envoyé, soit un appel (BR) demandant l'intervention de l'ordinateur en cas de défaut de fonctionnement, soit un appel LAM (NPR) demandant un transfert en accès direct mémoire sans intervention du processeur. En effet, les quatre fonctions d'acquisition se terminent toujours, lorsque le compteur choisi est plein, par le transfert en accès direct mémoire des données contenues dans tous les compteurs. C'est l'interface qui prépare l'électronique à ce transfert.

Dès qu'un LAM est émis, l'interface arrête l'exécution de la fonction en cours, transmet un appel NPR au DRIIB, tout en le mémorisant, met l'électronique en fonction lecture et positionne sur l'adresse zéro un compteur d'adresse à l'intention des différents compteurs, mettant ainsi sur le bus de données le contenu du compteur zéro.

Dès que l'appel NPR commence à être honoré, l'interface gère l'échange avec le DRIIB qui s'effectue sous forme de dialogue aller-retour : acceptation d'une donnée, demande de transfert de la donnée suivante. A chaque acceptation, l'interface incrémente de 1 son compteur d'adresse, mettant ainsi sur le bus de données le contenu du compteur suivant.

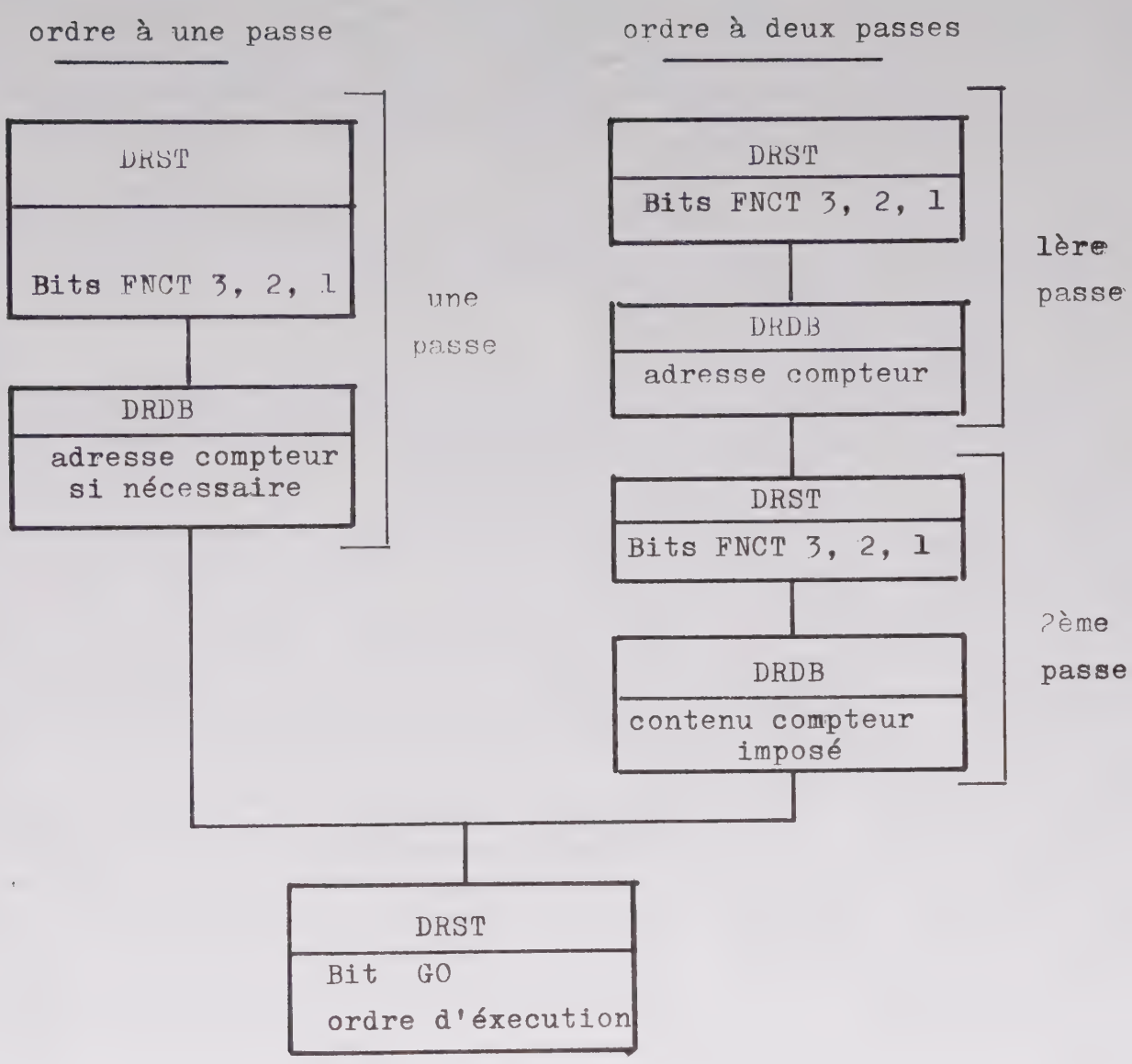

ordre à une passe
ordre à deux passes
DRST
Bits FNCT 3, 2, 1
DRDB
adresse compteur si nécessaire
une passe
DRST
Bits FNCT 3, 2, 1
DRDB
adresse compteur
lère passe
DRST
Bits FNCT 3, 2, 1
DRDB
contenu compteur imposé
2ème passe
DRST
Bit GO
ordre d'éxecution

fig III.9

Le transfert s'arrête lorsque le DRIIB envoie le signal WCOF "word count overflow" qui correspond au passage à zéro du registre DRWC. La procédure d'échange veut qu'en effet ce registre soit chargé par le logiciel avec le nombre de données à transmettre, c'est-à-dire le nombre de fils actifs avant toute opération de transfert.

A partir de l'instant où l'accès direct mémoire est accepté, le transfert du contenu des 512 compteurs s'effectue en moins de 0,8ms.

3.6 Tiroir générateur

Pour tester automatiquement l'électronique digitale, un tiroir générateur de 64 voies a été construit. Il se met à la place de deux tiroirs analogiques et se connecte sur le bus interchassis. Il reçoit ainsi les ordres venant de l'ordinateur via l'interface et le contrôleur de bus et envoie des signaux TTL sur les entrées des tiroirs logiques. La fréquence de base de ces signaux peut aller de 100Hz à 5MHz.

Une voie, que l'on peut choisir par programme, reçoit cette fréquence maximum, et sert d'horloge. Les voies voisines reçoivent les fréquences divisées par les puissances successives de 2 dans un rapport allant de 2 à 16.

A chaque fin d'acquisition, les programmes de test vérifient la concordance entre le nombre de coups envoyés et le nombre de coups reçus, et signalent les erreurs éventuelles ainsi que les défauts de mise à zéro des compteurs, s'ils se produisent.

Les 512 voies peuvent donc ainsi être testées rapidement.

3.7 Multiplexeur pour détecteur Gabriel

Les expériences de diffusion aux petits angles nécessitent une bonne résolution spatiale, d'où l'emploi, en général, d'un détecteur linéaire Gabriel. L'électronique d'acquisition correspondante est un enregistreur multicanal TRACOR. Ce matériel ne permet pas des acquisitions de données en cinétique, car il n'est pas possible de rendre automatique la commutation des spectres et surtout sa capacité de stockage est insuffisante (8 spectres de 512 points).

L'idée a donc été d'utiliser l'électronique d'acquisition de la chambre à fil en lieu et place du multicanal. On peut ainsi disposer d'un"buffer"d'acquisition permettant le transfert par bloc à l'ordinateur.

Le détecteur Gabriel est raccordé à la partie compteur via un convertisseur analogique digital de 10 bits, (avec un temps de conversion de 14µs) et un multiplexeur. La durée séparant les deux impulsions du compteur Gabriel est d'abord transformée en une valeur analogique par un convertisseur temps-amplitude, puis en valeur digitale par un convertisseur analogique-digital.

Le multiplexeur établit une correspondance biunivoque entre cette valeur digitale et l'adresse d'un compteur. Quand une certaine adresse apparaît le contenu du compteur correspondant est incrémenté de une unité.

Bien que n'utilisant pas l'électronique d'acquisition au maximum de ses performances, en termes de capacité et de rapidité, ce montage a servi de plateforme d'essais pour le programme d'acquisition en cinétique.

IV - LE LOGICIEL

La conception de l'électronique et l'écriture du logiciel ont toujours été menées simultanément en raison de leur étroite dépendance.

1. Les fonctions réalisables

Commandées à partir de la console système, les fonctions de base que l'on peut faire exécuter sont :

initialisation du système
mise à zéro de tous les compteurs
mise à zéro d'un compteur particulier repéré par le numéro du fil auquel il est affecté
lecture du contenu d'un compteur
comptage sans logique avec arrêt prédéterminé
comptage sans logique arrêt au premier compteur plein
comptage avec logique avec arrêt prédéterminé
comptage avec logique arrêt au premier compteur plein.

Les premières opérations sont des opérations de préparation ou de contrôle de l'acquisition, les quatre dernières sont des fonctions d'acquisition.

On notera

a) que l'on peut ou non employer la logique

b) que l'on peut choisir le mode d'arrêt de l'acquisition :

soit lorsqu'un compteur quelconque est plein (contenu égal à 65280, ce qui correspond aux 8 bits de plus fort poids égaux à 1)

soit lorsqu'un compteur choisi au préalable voit son contenu atteindre une valeur choisie à l'avance, que l'on désigne sous le terme de valeur prédéterminée.

On peut ainsi enregistrer un spectre sur l'ensemble de la chambre sans le déformer par la saturation et le passage à zéro de certains compteurs. Ensuite, il est possible de préciser une zone d'intérêt en y augmentant la sensibilité par prolongation du temps de comptage. Les zones saturées étant connues, grâce à la première acquisition, on peut les éliminer de l'étude.

2. Classification des programmes

On peut distinguer trois types de programme :

a) les programmes d'essais permettant de tester l'électronique et de vérifier le détecteur.

b) les programmes d'acquisition de données.

c) les programmes de dépouillement des résultats (spectres acquis et conservés sur disques).

3. Structure des programmes

Tous les programmes sont écrits sous moniteur RT11 version V02B. Ils sont en langage MACRO (instructions mnémoniques) qui permettent de réduire la place mémoire nécessaire et d'assurer la plus grande rapidité d'exécution. Les programmes d'acquisition sont tous structurés de la même manière.

Une partie permet le choix de la fonction à exécuter en tapant un code à 6 lettres sur le clavier de la console-système. L'ordinateur se branche alors sur le programme correspondant à cette fonction et en assure la commande, jusqu'à l'ordre d'exécution. Il revient ensuite en attente d'un nouvel ordre.

Une partie permet le traitement des interruptions que l'électronique peut engendrer. La commande de l'exécution d'une fonction commence toujours par le chargement du vecteur-interruption du DRIIB avec l'adresse du sous-programme correspondant au traitement de l'interruption susceptible d'être produite lors de l'exécution de l'opération. Ainsi l'ordinateur, bien qu'en attente d'un nouvel ordre, est à même de traiter immédiatement l'interruption quand elle se produit. A la fin du traitement, le vecteur-interruption est déchargé et ne sera chargé qu'au moment où un nouvel ordre, nécessitant un traitement en interruption sera envoyé à l'électronique, et celà avec le nouveau programme d'interruption correspondant à la nouvelle fonction demandée.

En même temps que le système fait un appel en interruption, il mémorise la cause de l'appel et les coordonnées de la carte ayant fait l'appel. Il est donc possible de contrôler le bon fonctionnement de l'ensemble en lui imposant des conditions connues et en vérifiant ses réponses (cf. programmes de test).

Le système informatique permet les opérations suivantes :

- visualisation sur console graphique Tektronix 4010 des spectres ou tracé graphique sur traceur de courbes Tektronix 4662.
- stockage sur disques RK05 des spectres acquis.

- liaison avec l'UNIVAC de Paris-Sud informatique via un concentrateur SIT INTEL
- sortie des spectres sur bande papier.

Les programmes de dépouillement ont la même structure quant au choix de l'opération à réaliser, mais ils ne comportent pas de traitement d'interruption.

Les programmes d'acquisition et de dépouillement - étant destinés à des usagers non spécialistes - proposent à leur mise en route de fournir leur mode d'emploi à l'utilisateur qui le souhaite (Figure IV.1 et suivantes). Chaque opération demande en clair les données qui lui sont nécessaires pour son exécution, l'usager n'a donc aucun effort de mémorisation à faire, l'apprentissage est rapide et les causes d'erreur minimisées.

4. Description des programmes

a) Programmes de test

Ils sont utilisés avec le tiroir générateur et permettent le test automatique d'un certain nombre de voies.

α) TSTCHB

Ce programme permet le contrôle des compteurs et des transferts de données jusqu'à la mémoire de l'ordinateur.

Au début, on entre les paramètres du test à la demande du programme : numéro du premier et du dernier fil à tester, nombre de tests en valeur non prédéterminée et en valeur prédéterminée, durée de la temporisation.

Puis le programme se déroule en adressant successivement tous les compteurs sélectionnés. Il teste la mise à zéro du compteur, puis déclenche une acquisition sans valeur prédéterminée, une temporisation est mise en route et si un appel NPR n'est pas fait avant son achèvement, le fonctionnement du compteur est signalé comme défectueux. Si l'appel a bien eu lieu, il y a contrôle de l'identité de la carte qui a fait l'appel en interruption.

Le programme effectue ensuite une acquisition avec valeur prédéterminée et contrôle que la valeur enregistrée est bien la valeur demandée.

β) TSTLOG

La structure de ce programme est sensiblement la même que celle du précédent, mais son rôle essentiel est de tester le bon fonctionnement de la logique. Connaissant la simultanéité ou non des coups envoyés sur un compteur et ses voisins, il est possible de savoir ce que doit être le contenu d'un compteur.

Le programme compare les valeurs obtenues et attendues. L'égalité est déclarée vérifiée avec une tolérance de quelques coups pour tenir compte des fluctuations que la gamme de fréquence de travail (100Hz à 5MHz) peut engendrer.

b) Programmes d'acquisition

α) CHBGON

C'est le programme général de la chambre à fil. Il permet toutes les commandes de la chambre et tous les modes d'acquisition ainsi que leur vérification (Figure IV.1).

Il peut donc être utilisé soit en test, soit en acquisition.

Comme il permet la modification souple de tous les paramètres, il est utilisé pour des acquisitions spectre par spectre. Vu sa généralité d'emploi, il peut également être utilisé en cinétique, mais seulement sur quelques spectres, car la place mémoire dans l'ordinateur est réduite du fait de la longueur de ce programme. Il permet donc surtout de tester le fonctionnement en cinétique.

β) CONCHB

C'est le programme d'acquisition en cinétique (Figure IV.2).

Il fonctionne en valeur prédéterminée sur un des compteurs de la chambre qui est utilisé comme compteur d'horloge. On envoie directement sur ce compteur les impulsions d'un générateur, après les avoir calibrées avec un oscilloscope. En imposant le nombre d'impulsions à accumuler dans ce compteur, on impose le temps d'acquisition du spectre expérimental sur le détecteur.

Lorsque le temps est écoulé, il y a transfert du contenu des compteurs en zone mémoire de l'ordinateur, puis relance de l'acquisition pour un autre spectre.

```
R CHBGON

      PROGRAMME GENERAL DE LA CHAMBRE A FILS A UNE DIMENSION

ADRESSE DE  SAUVEGARDE=026200
ADRESSE DEBUT DU PREMIER SPECTRE=030412
IMPRESSION DU MODE D'EMPLOI  ?

OUI

UTILISATION REENTER- FAIRE CTRL C PUIS RE (CR)

        COMMANDE DU FONCTIONNEMENT
INITIALISATION TAPER INITIE
FONCTION NO N TAPER FONCTN
FONCTO=AUCUNE OPERATION
FONCTION 1= EFFACEMENT GENERAL
FONCTION 2= EFFACEMENT INDIVIDUEL
FONCTION 3=LECTURE D'UN COMPTEUR
FONCTION 4=COMPTAGE SANS LOGIQUE ARRET PREDETERMINE
FONCTION 5=COMPTAGE SANS LOGIQUE ARRET PREMIER COMPTEUR PLEIN
FONCTION 6=COMPTAGE AVEC LOGIQUE ARRET PREDETERMINE
FONCTION 7=COMPTAGE AVEC LOGIQUE ARRET PREMIER COMPTEUR PLEIN
FONCTION 8=LECTURE PERMANENTE COMPTEUR
FONCTION 9=LECTURE D'UNE SUITE DE FILS
FONCTS=SAUVEGARDE COMPTEURS
CHANGEMENT DES PARAMETRES D M A TAPER PARDMA
ACQUISITION EN CINETIQUE TAPER  CINTIK

EXAMEN DES DONNEES
LECTURE ZONE MEMOIRE TAPER ZOMLEC
LECTURE ZONE MEMOIRE EN DECIMAL TAPER LECDEC
ECRITURE ZONE MEMOIRE TAPER ZOMECR
ECRITURE SUR DISQUE TAPER DKECRI
LECTURE DE DISQUE TAPER DKLECT
ADRESSE DES SPECTRES TAPER ADSPEC
SOMME DES COUPS DU SPECTRE EN ZONE TRANSFERT ET VALEUR MOYENNE TAPER SOMME

        TRACE GRAPHIQUE
TRACE GRAPHIQUE TAPER GRAPHE
APPEL VISEUR TAPER VISEUR
EFFACEMENT DE LA VISU TAPER CLRVIS

        CONTROLE DU FONCTIONNEMENT
CAUSE INTERRUPTION TAPER IMPINT
DRWC  COMPTEUR DE MOTS  TAPER RGDRWC
DRBA  ADRESSE DE TRANSFERT  TAPER RGDRBA
DRST  REGISTRE D'ETAT  TAPER RGDRST
DRDB  REGISTRE DE DONNEES  TAPER RGDRDB
ADRESSE QUELCONQUE  TAPER ADRQCQ
```

fig IV.1

R USECIN

MODE D'EMPLOI DU PROGRAMME CONCHB

```
        FONCTIONNEMENT MANUEL
 INITIALISATION TAPER INITIE
FONCTION NO N TAPER FONCTN
FONCTO=AUCUNE OPERATION
FONCTION 1= EFFACEMENT GENERAL
FONCTION 2= EFFACEMENT INDIVIDUEL
FONCTION 3=LECTURE D'UN COMPTEUR
FONCTION 4=COMPTAGE SANS LOGIQUE ARRET PREDETERMINE
FONCTION 6=COMPTAGE AVEC LOGIQUE ARRET PREDETERMINE
FONCTION 9=LECTURE D'UNE SUITE DE FILS

        FONCTIONNEMENT EN CINETIQUE
ENTREE DES PARAMETRES DE CINETIQUE TAPER PARCIN
ACQUISITION EN CINETIQUE TAPER  CINTIK

        CONTROLE DES ACQUISITIONS
ADRESSE DES SPECTRES TAPER ADSPEC
LECTURE ZONE MEMOIRE EN DECIMAL TAPER LECDEC
ECRITURE SUR DISQUE TAPER DKECRI
CAUSE INTERRUPTION TAPER IMPINT


                REMARQUES
EN  CINETIQUE IL FAUT ENTRER LES PARAMETRES AVANT LA 1ERE
ACQUISITION,LES SUIVANTES SE FERONT AVEC LES MEMES
PARAMETRES TANT QUE PARCIN N'EST PAS RAPPELE
LES PARAMETRES DEMANDES SONT:
NOM DU CYCLE,VALEUR PREDETERMINEE ET NOMBRES DE SPECTRES
A CETTE VALEUR,FONCTION 4 OU 6,DEPART EXTERIEUR
OU MANUEL PAR LA CONSOLE SYSTEME
```

fig IV.2

Un maximum de place mémoire étant laissé libre par ce programme, il est possible d'acquérir une suite (cycle) de 38 spectres. Chaque spectre comporte 512 mots de 16 bits et peut avoir un temps d'acquisition choisi dans un rapport de 1 à 600 dans les décades suivante : 20 à 120ms, 200 à 1200ms, 2 à 12s, 20 à 120s. On peut ainsi découper le cycle de façon à détailler la partie intéressante du phénomène étudié.

L'intervalle de temps entre deux spectres est rigoureusement constant, car il représente le déroulement d'un programme fixe plus le temps de transfert (0,8ms) des 512 mots du spectre acquis en mémoire centrale. Il se décompose en :

identification de l'interruption, chargement des nouveaux paramètres d'acquisition et lancement d'une nouvelle interruption.

le temps mort, transfert compris, entre deux acquisitions est de l'ordre de 1,5ms.

L'ensemble des spectres est stocké ensuite automatiquement sur disque en fin d'acquisition sous un nom de cycle choisi à l'avance.

c) Programme de dépouillement des données

Les spectres une fois stockés sur disque, il est possible de les traiter ensuite à l'aide de ces programmes.

Les opérations possibles sont données dans le mode d'emploi du programme DEPDOC (Figure IV.3).

Il s'agit essentiellement de calculs de normalisation et de statistiques, ainsi que de comparaisons avec un spectre de référence.

Ces opérations seront décrites de façon plus précise dans les chapitres suivants consacrés aux essais du détecteur et à son utilisation dans des expériences de Biologie.

Le programme DEPDOC ne permet que la visualisation des spectres sur console Tektronix 4010, et éventuellement leur édition sur "Hard copy" ; le programme WAPCHB permet le tracé graphique sur un traceur de courbe interactif Tektronix 4662, on utilise dans ce cas la sortie RS232C à 300 bauds du perforateur de bande papier.

```
 R DEPDOC
DEPOUILLEMENT DES SPECTRES DE LA CHAMBRE A FILS
ADRESSE HAUTE PROGRAMME ==041006
ADRESSE BUFFER LECTURE ==026574
ADRESSE BUFFER DE CALCUL==030574
ADRESSE BUFFER SAUVEGARDE ==032574
CLEAR TERMINE
IMPRESSION DU MODE D'EMPLOI  ?

OUI

CHOISIR UNE ADRESSE DE TRAVAIL

UTILISATION REENTER- FAIRE CTRL C PUIS RE (CR)
LECTURE ZONE MEMOIRE TAPER ZOMLEC
ECRITURE ZONE MEMOIRE TAPER ZOMECR
LECTURE ZONE MEMOIRE EN DECIMAL TAPER LECDEC
TRACE GRAPHIQUE TAPER GRAPHE
EFFACEMENT DE LA VISU TAPER CLRVIS
APPEL VISEUR TAPER VISEUR
ECRITURE SUR DISQUE TAPER DKECRI
LECTURE DE DISQUE TAPER DKLECT
CHANGEMENT DES PARAMETRES GRAPHIQUES TAPER PARGRA
APPEL D'UN AUTRE SPECTRE TAPER SUIVAN
CLEAR BUFFER CALCUL TAPER CLRMEM
ADDITION DE SPECTRES TAPER ADTION
SOUSTRACTION DE SPECTRES TAPER SOUSTR (CAL-LEC-->CAL)
ADRESSE MEMOIRE D'UN FIL TAPER ADRFIL
TRANSFERT SPECTRE LU EN ZONE SAUVEGARDE TAPER SAVSPE
TRANSFERT SPECTRE SAUVE EN ZONE LECTURE TAPER SPECLU
TRANSFERT SPECTRE SAUVE EN ZONE CALCUL TAPER SPECAL
TRANSFERT SPECTRE DE ZONE CALCUL A LECTURE TAPER KALRLU
CALCUL VALEURS NORMEES TAPER VALNOR  (LEC-->CAL COEFF DS SAV)
SOMME DES COUPS DU SPECTRE EN ZONE LECTURE ET VALEUR MOYENNE TAPER SOMMES
ADDITION PARTIELLE TAPER PARSOM
SPECTRE LU FOIS 2 TAPER DOUBLE
SPECTRE LU DIVISE PAR 2 TAPER MOITIE
ECARTS PAR RAPPORT A LA MOYENNE TAPER ECARTS (LEC-->LEC APRES SOMMES)
CALCUL DES CORRECTIONS TAPER CORIGE (LEC-->CAL APRES SOMMES)
CALCUL COEFFICIENTS DE CORRECTION TAPER COEFIS
NORMALISATION D'UN SPECTRE TAPER NORMAL
LINEARITE DIFFERENTIELLE TAPER LINDIF
JUXSTAPOSITION DE SPECTRES TAPER DILATE
TRANSFORMATION NB DECIMAL EN OCTAL TAPER TRSOCT
AU LIEU DE SOMMES ON PEUT ENTRER UN NB PAR TRSOCT
VARIANCE D'UN SPECTRE TAPER VARIAN
COMPARAISON VALEUR A FIL TAPER COMPAR
LISSAGE D'UN SPECTRE TAPER LISAGE
MULTIPLICATION SPECTRE PAR CSTE TAPER SPEMUL
```

fig IV.3

V - ESSAIS AVEC SOURCE RADIOACTIVE Fe55

Les premiers essais du détecteur ont été effectués avec une source radioactive de Fe55 de 10 millicuries. (Photo V.1). La source est placée au centre de courbure de la chambre et on utilise le mode d'acquisition en valeur prédéterminée : un compteur est connecté à un générateur d'impulsions rectangulaires dont la fréquence est étalonnée régulièrement ; on impose ensuite un nombre de coups à atteindre dans ce compteur, ce qui équivaut à faire une acquisition pendant un temps précis.

La plupart des spectres ont été relevés d'abord sans logique puis avec logique, de façon à mettre en évidence l'influence de cette dernière sur les histogrammes.

1. Caractéristiques de la source

Il s'agit d'une source se présentant sous forme d'un disque ; elle est montée dans un épais blindage en laiton dont le bouchon est ôté à chaque mise en service. Pour les essais, la source présente quatre caractéristiques essentielles :

a) elle fournit un rayonnement quasiment monochromatique de 5,9keV (2,1 Å) correspondant à la raie K de Mn.

b) elle produit un éclairage uniforme sur toute l'étendue du détecteur.

c) son flux peut être considéré comme constant pendant les expériences en raison de sa longue durée de vie (2,77±0,17ans).

d) elle est d'une grande commodité d'emploi et d'une grande maniabilité.

2. Paramètres influençant le taux de comptage à flux constant

Dans le but de connaître les différentes caractéristiques du détecteur : reproductibilité, linéarité différentielle, proportionnalité au flux, il était nécessaire d'examiner les différents paramètres capables d'agir sur le taux de comptage.

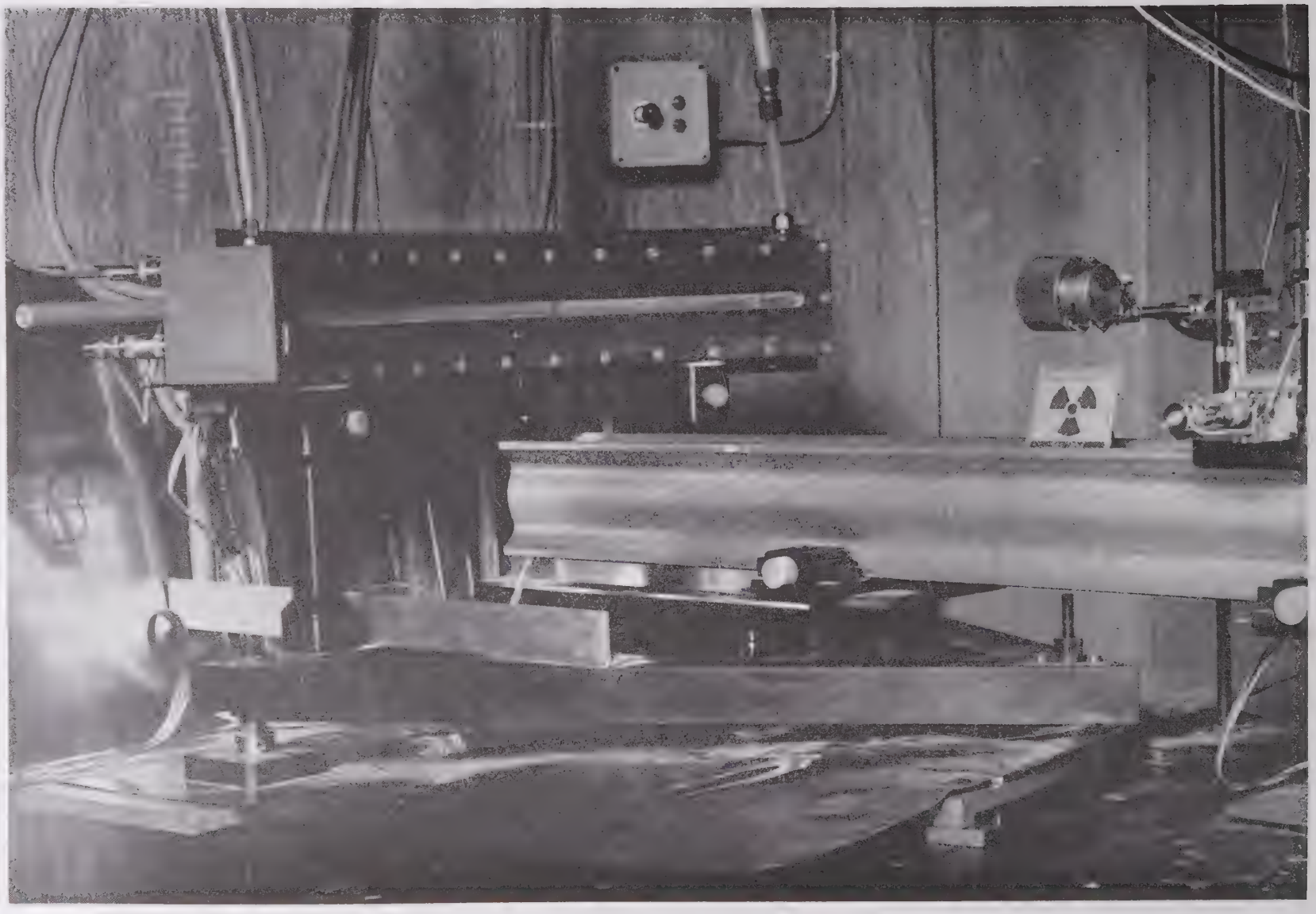


PHOTO V.1 MONTAGE POUR ESSAIS AVEC SOURCE RADIOACTIVE Fe55

a) Tension de seuil Vs

On a vu (paragraphe III.2) que les comparateurs utilisés sur les cartes analogiques avaient une de leur entrée réunie à un pont de polarisation permettant de définir, pour les impulsions amplifiées, un seuil de discrimation au dessous duquel elles ne sont pas comptées. On a donc étudié l'influence de la valeur de cette tension de seuil Vs sur la réponse de la chambre.

On a fait varier la tension de seuil par pas de 0,5V depuis 9,5V jusqu'à 3V et l'on enregistre pour chacune de ces valeurs le spectre obtenu, la durée d'exposition étant de 2mn.Il n'a pas été possible de descendre en dessous de 3V en raison de l'importance du bruit. On calcule ensuite pour chaque spectre la somme des coups bruts obtenus sur l'ensemble de la chambre, puis la valeur moyenne par fil. La Figure V.1 représente la courbe valeur moyenne par fil en fonction de Vs. Ceci a été fait pour deux types d'acquisition : sans logique et avec logique.

La courbe avec logique présente, entre 4V et 7V, une partie sensiblement horizontale, alors que cette même partie croit de façon quasi-linéaire pour la courbe sans logique. Ce résultat illustre le fonctionnement physique du détecteur et de son électronique ; soit que la division des charges sur les fils conduise à des signaux d'amplitude trop faible pour franchir, une fois amplifiés, le seuil du discriminateur et être comptés ; soit que le gain des amplificateurs soit trop faible, même si l'avalanche est d'un niveau suffisant, pour fournir des signaux d'un niveau supérieur au seuil. Dans ces conditions, au fur et à mesure que l'on diminue le seuil, une partie de plus en plus grande de ces signaux, initialement d'un niveau trop faible, est prise en compte et le taux de comptage augmente.

Par contre, lorsque la logique est employée, tous les événements produits sont comptabilisés (voir paragraphe 3) et puisque l'on travaille à flux constant on obtient sensiblement un plateau.

Le gain des amplificateur, cable compris, a été mesuré égal à 112mV/pC. L'amplitude moyenne des signaux à la sortie des amplificateurs est de 100mV, ce qui correspond à une charge reçue par fil de 0,9pC.

Par ailleurs, si l'on admet une perte d'énergie par paire d'électrons-ions créée de 20eV, on aura à 5,9keV sensiblement 300 paires produites. En admettant comme ordre de grandeur 200 paires, on aura $3{,}2.10^{-17}$C. Le gain gazeux de la chambre se situe en moyenne aux environs de $2{,}8.10^{4}$.

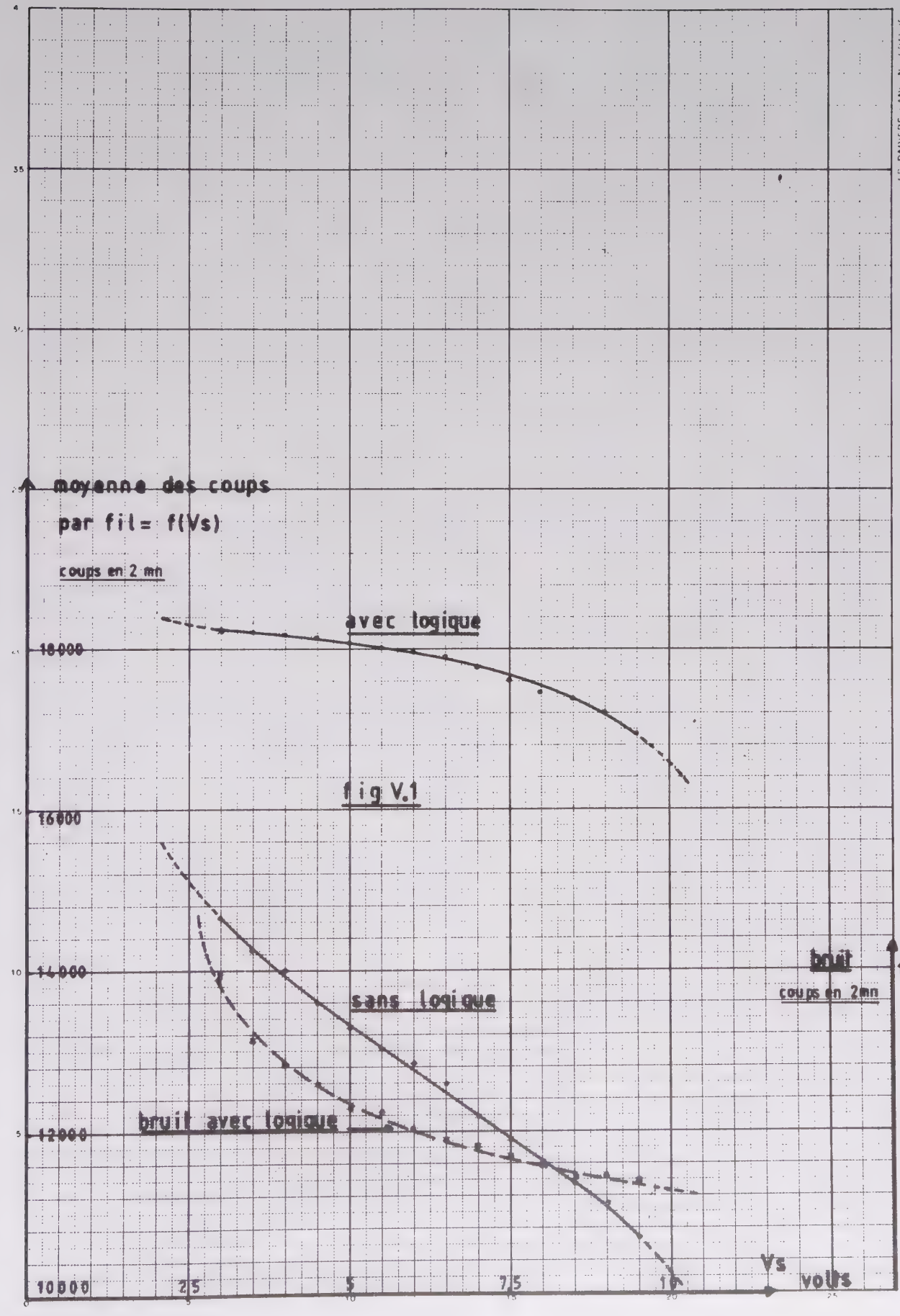

moyenne des coups
par fil = f(Vs)
coups en 2 mn
avec logique
18000
16000
14000
12000
10000
sans logique
bruit avec logique
bruit
coups en 2mn
100
50
2,5
5
7,5
10
Vs
volts

fig V.1

La variation de la tension de seuil Vs correspond à une variation réelle à l'entrée du comparateur de 7,5mV/V. Le choix de la valeur 5V donne donc un rapport de l'ordre de 3 entre seuil imposé et niveau moyen des signaux de chambre amplifiés. C'est la valeur qui a été retenue pour les autres essais.

b) Bruit

Le bruit propre de la chambre a été mesuré en procédant à une acquisition pendant la même durée (2mn), la source étant aveuglée par son bouchon de laiton. Après blindage de la chambre avec un feuillard de cuivre de sa partie horizontale et de sa face arrière, on obtient pour Vs = 5v un bruit moyen de 0,3 à 0,9 coup/s et par fil.

c) Haute tension de l'espace proportionnel

Deux séries de 4 spectres ont été relevées, sans logique, pendant 2mn en éclairage uniforme, l'une pour 4,35kV, l'autre pour 4,4kV aux bornes de l'espace proportionnel.

Dans chaque série, un spectre étant pris pour référence, on détermine fil à fil les écarts en nombre de coups entre ce spectre et les autres.

On constate que les différences brutes des spectres par rapport au spectre de référence de même tension sont du même ordre de grandeur de 1 à 1,4 % dans les deux cas. Par contre, par rapport au spectre de référence à 4,4kV, les spectres relevés à 4,35kV présentent des différences de l'ordre de 7 à 7,7 %.

On peut donc conclure que l'on n'a pas encore atteint le plateau de fonctionnement en régime proportionnel puisqu'une variation de tension de 50V entraîne une variation du nombre de coups de l'ordre de 6 % soit 0,12 % par Volt.

Comme il n'est pas possible d'augmenter davantage la tension par suite des risques de claquage et de destruction possible des fils, le choix a été fait de travailler avec une alimentation haute tension stabilisée à mieux que 10^{-3}. Il sera possible de se rapprocher davantage du plateau sans risque pour le détecteur lors de la mise en service d'une nouvelle alimentation haute tension stabilisée pourvue d'un dispositif de limitation de courant.

d) Distance de la source à la chambre

On déplace la source sur l'axe de la chambre et l'on mesure la distance entre l'isolant de la face avant de la chambre et le bord en laiton de l'enveloppe de la source. On peut noter qu'il n'est pas rationnel de s'éloigner du centre de courbure si l'on veut éviter les effets de parallaxe, mais ici c'est la recherche d'un ordre de grandeur du paramètre distance qui importe.

On a pu vérifier que la loi $y = \frac{ke^{-ax}}{x^2}$, composition de l'effet de l'angle solide et de l'atténuation due à l'air, rendait compte des résultats expérimentaux avec un écart maximum de 2%.

On peut donc en déduire que $\frac{\Delta y}{y} = -(a+\frac{2}{x})\Delta x$.

Comme $a = 2{,}85.10^{-3}$ on trouve qu'à la distance de 500mm un déplacement Δx de 1mm produit une variation relative du taux de comptage de $6.85.10^{-3}$ soit sensiblement 0,7%/mm.

e) Temps d'exposition

L'effet du temps d'exposition est évident et la précision sur le nombre de coups reçus est égale à celle avec laquelle le temps est mesuré c'est-à-dire la précision avec laquelle peut être reproduite la période de l'horloge. Le contrôle de la période de l'horloge s'effectue à chaque changement de gamme de temps avec un oscilloscope. On peut estimer que la méthode assure une reproductibilité de 1% en valeur relative.

f) Mélange gazeux

Les effets du débit ou des variations de composition du mélange gazeux n'ont pas été mesurés. Dans tous les essais, nous avons conservé ce mélange constant en faisant confiance aux indications des débimètres.

Des mesures de contrôle effectuées sur la chambre lors de variations de la pression atmosphérique et de l'humidité de l'air n'ont pas permis de mettre en évidence l'influence de ces paramètres.

3. La logique

Le but et le principe de fonctionnement en ont été définis paragraphe III.3.1.

a) Définitions et formules

Soient n_1 le nombre d'événements ne touchant qu'un fil et n_2 le nombre d'événements touchant deux fils. Le nombre total d'événements sur la chambre est évidemment $n_1 + n_2$.

Le nombre total de coups obtenus sur la chambre sera

sans logique : $\Sigma_{SL} = n_1+n_2$ (1er fil touché) + n_2 (2ème fil touché) = n_1+2n_2

avec logique : $\Sigma_{AL} = 2n_1+n_2$ (1er fil touché) + n_2 (2ème fil touché) = $2n_1+2n_2$.

Ceci en admettant que les événements n_2 produisent sur les fils touchés des signaux d'amplitude suffisante pour qu'ils soient comptés.

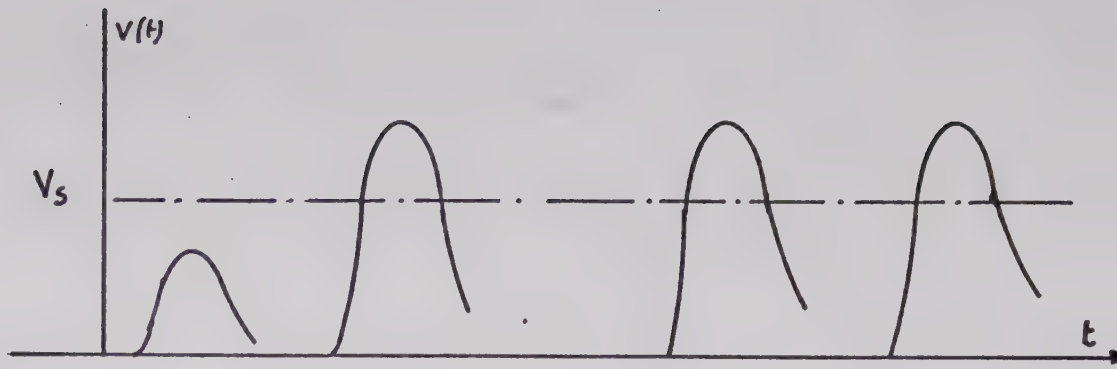
Dans cette hypothèse, s'il n'y a pas d'événement touchant deux fils simultanément $n_2 = 0$ et l'on a $\Sigma_{AL} = 2\Sigma_{SL}$; s'il n'y a que des événements touchant deux fils simultanément $n_1 = 0$ et l'on a $\Sigma_{AL} = \Sigma_{SL}$. On a toujours $n_1 = \Sigma_{AL} - \Sigma_{SL}$.

On peut constater sur les résultats obtenus lors des essais sur l'influence de Vs (Figure V.1) que l'on n'est jamais rigoureusement dans un de ces deux cas ($n_2 = 0$ ou $n_1 = 0$).

La Figure V.2 illustre le mode de comptage sans logique et avec logique lorsqu'un événement touche deux fils simultanément.

Selon que les signaux sont capables ou non de franchir le seuil le décompte n'est pas le même dans les deux cas.

Avec la logique, lorsqu'un événement est double, mais avec des signaux d'amplitude très différente au point que l'un des deux ne peut franchir le seuil du comparateur, le nombre total de coups obtenus sur la chambre est le même que si les deux signaux avaient eu une amplitude suffisante pour être considérés comme un événement double. Ceci renforce donc l'aptitude de la logique à rendre compte des événements doubles.



SANS LOGIQUE	ignore	compté 1	compté 1	compté 1
AVEC LOGIQUE	ignore	compté 2	compté 1	compté 1

fig V.2 mode de comptage d'un evénement double

On voit donc que $\frac{\Sigma_{AL}}{2} = n_1+n_2$ représente le nombre total d'événements s'étant produits sur le détecteur quelle qu'ait été la bipartition de l'événement au niveau des fils.

En conséquence, on utilise toujours la logique.

b) "Coefficients" k et α du détecteur

Nous supposerons pour faire le calcul qui suit que les événements n_2 produisent sur les fils touchés, lors de leur bipartition, des signaux qui sont tous d'amplitude suffisante pour qu'ils soient comptés sur chacun des fils. (Ceci est une approximation).

Si l'on suppose que $\frac{n_1}{n_2} = \text{cste} = k$ alors on déduit des formules précédentes que : $\Sigma_{SL} = n_2(k+2)$

$$\Sigma_{AL} = 2n_2(k+1)$$

d'où $\frac{\Sigma_{AL}}{\Sigma_{SL}} = \frac{2n_2(k+1)}{n_2(k+2)} = \frac{2(k+1)}{k+2} = \alpha = \text{cste}$

et dans ces conditions $k = \frac{2(\alpha-1)}{2-\alpha} = \frac{2\frac{\Sigma_{AL}}{\Sigma_{SL}} - 1}{2-\frac{\Sigma_{AL}}{\Sigma_{SL}}}$

formules rendant compte des cas limites cités plus haut :

$n_1 = 0 \rightarrow k = 0$ d'où $\alpha = 1$

$n_2 = 0 \rightarrow k = \infty$ d'où $\alpha = 2$.

c) Répartition des événements

Des contrôles systématiques ont été effectués sur le détecteur avec la source Fe55 en relevant dans les mêmes conditions des spectres sans logique et avec logique. Le rapport α de la somme des coups avec logique à la somme des coups sans logique est sensiblement constant.

La valeur moyenne de α est $\bar{\alpha} = 1,6$, sa variance $\sigma^2 = 0,0065$ et son écart type $\sigma = 0,026$.

On peut en déduire que α suit sensiblement une loi normale (Loi de Gauss) puisque 5 de ses valeurs sont comprises entre $\bar{\alpha} + \sigma$ et $\bar{\alpha} - \sigma$ (62,5 % au lieu de 68,26 %) et que toutes ses valeurs sont comprises entre $\bar{\alpha} \pm 2\sigma$ (100 % au lieu de 95 %).

Il en est de même pour k, bien que sa détermination soit moins précise, comme le montre le calcul d'erreur (On trouve $\frac{\Delta k}{k} \sim 6,6 \frac{\Delta \alpha}{\alpha}$).

Puisque $\overline{k} = \frac{n_1}{n_2}$ est de l'ordre de 3 (2,97) pour 100 événements, on aura $n_1 = 74,8$ et $n_2 = 25,2$.

On peut donc en conclure que pour un seuil de 5V, et avec des photons de 5,9keV, le nombre d'événements touchant 2 fils représente sensiblement 25 % des événements se produisant sur la chambre.

Il faut toutefois rester très prudent sur l'utilisation de α car ce rapport

$\frac{\Sigma_{AL}}{\Sigma_{SL}}$ dépend des paramètres d'acquisition alors que par définition c'est une caractéristique du phénomène étudié.

Enfin, il serait intéressant de voir si la constance de α sur l'ensemble de la chambre est conservée sur chaque fil individuellement, dans le cas d'une irradiation uniforme.

Ces résultats sont une confirmation de la nécessité d'utiliser la logique en usage normal.

4. Reproductibilité

Des spectres en éclairage uniforme, dans les mêmes conditions expérimentales (tensions sur la chambre, gaz, position de la source) ont été relevés deux jours de suite, avec logique, pendant des durées d'exposition de 2mn et 5mn.

Pour chaque durée les spectres sont comparés au dernier spectre de la série acquis le deuxième jour et choisi arbitrairement comme spectre de référence.

La comparaison s'effectue en soustrayant, fil à fil, de chaque spectre le spectre de référence, puis en prenant la valeur absolue de chaque différence et enfin en faisant la moyenne des différences sur les 383 fils actifs. On peut ainsi exprimer les différences soit en nombre de coups soit en pourcentage en rapportant ce nombre de coups à la valeur moyenne brute par fil du spectre de référence.

On a pu constater que la reproductibilité est sensiblement la même le même jour ou du jour au lendemain pour chacune des deux durées, mais elle se détériore quand la durée d'exposition augmente, le bruit n'étant plus tout à fait négligeable.

On peut tabler en résumé sur une reproductibilité le jour même ou d'un jour à l'autre comprise entre 1,6 et 2,5%.

Les relevés n'ont été faits chaque jour qu'après un balayage de gaz de 3 heures dont une demi-heure avec application des hautes tensions pour s'assurer au mieux de la similitude des conditions expérimentales.

Ces résultats concernant la reproductibilité sont très satisfaisants et bien adaptés à un "run" de prise de données qui dure au maximum 36 heures.

5. Linéarité différentielle

La linéarité différentielle est, par analogie avec le vocabulaire utilisé pour les potentiomètres, l'écart exprimé en pour cent entre la valeur en chaque point du spectre et la valeur moyenne du spectre.

Elle est en moyenne égale sur les spectres bruts à 5 %. (Voir le tableau de la Figure V.4). Elle permet ainsi de donner un ordre de grandeur de la dispersion du gain de chaque détecteur que constitue un fil et son électronique ; elle met ainsi en évidence la nécessité de normaliser les réponses.

La normalisation effectuée ramène la linéarité différentielle des spectres (spectres normés) à 1,5 %.

6. Normalisation

On a vu que le réglage de seuil étant global sur l'ensemble de l'électronique analogique, on ne peut équilibrer les réponses des amplificateurs pour obtenir une réponse uniforme du détecteur sur toute son étendue.

Il semble plus rationnel, ainsi qu'il l'a été explicité au paragraphe II.2, de considérer la chambre comme constituée de n détecteurs, chacun ayant sa réponse propre.

A partir d'un éclairage uniforme, on peut calculer le coefficient de correction à apporter à la réponse de chaque fil pour obtenir une valeur corrigée égale à la moyenne des coups reçus sur la chambre. En appliquant ensuite à chaque spectre les valeurs de correction ainsi calculées, on obtient un spectre dit normé.

Soit Ai le nombre de coups obtenus sur le fil i, $\sum_{i=1}^{i=n} Ai$ représente la somme des coups sur la chambre. Si le spectre A correspondant est pris comme référence, le coefficient de correction à appliquer au fil i sera

$Q_i^A = \sum_{i=1}^{i=n} Ai \Big/ nAi$ n étant le nombre de fils en service sur la chambre.

Ce calcul a été fait sur les spectres relevés lors des essais de reproductibilité. La Figure V.3 montre un spectre brut acquis avec logique, pour un temps de pose de 5mn et son spectre normé.

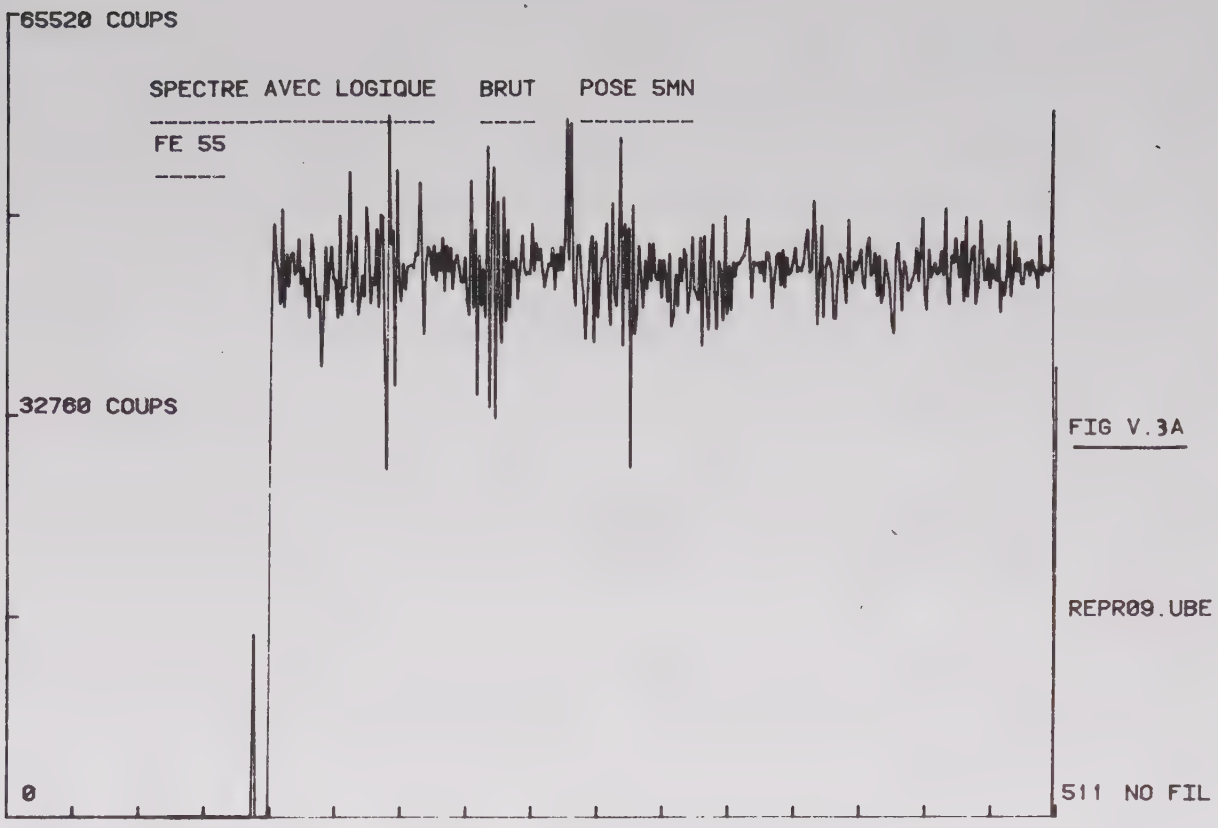
On voit que l'on obtient une réponse plate sur l'ensemble du détecteur une fois la normalisation effectuée. Le spectre brut présente lui une allure générale horizontale telle qu'on pouvait l'attendre d'un éclairage uniforme.

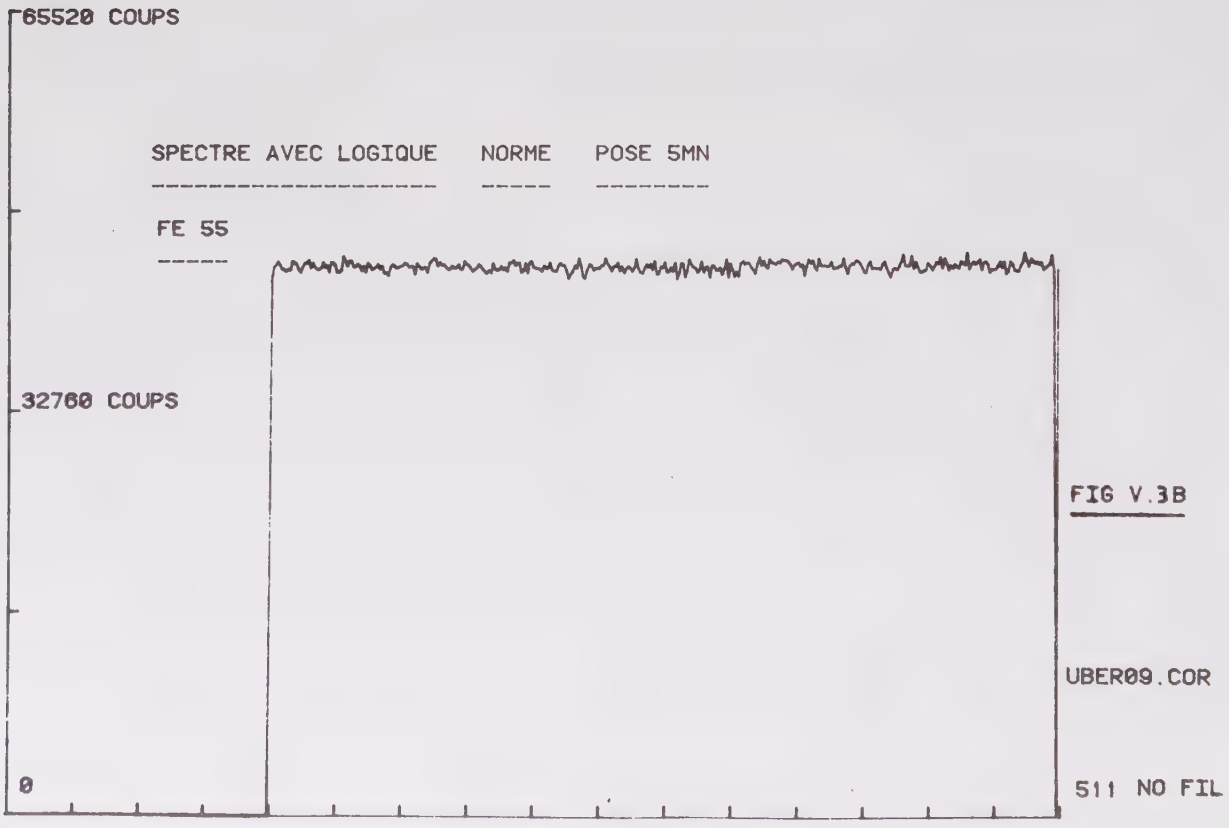
On peut noter que la normalisation ne change pas l'ordre de grandeur de la reproductibilité.

7. Spectres normés et examen statistique des méthodes de correction

On peut considérer, en éclairage uniforme, que le nombre de coups sur un fil est une variable aléatoire x susceptible de prendre un certain nombre de valeurs x_i qui sont toutes les valeurs possibles que l'on peut obtenir sur les fils de la chambre. Cette variable est une variable continue pouvant prendre n'importe quelle valeur entre 0 et la valeur maximum que donne le fil ayant le plus grand gain. L'ensemble de ces valeurs reste toutefois déterminé par les conditions expérimentales qui incluent : la distance de la source, le temps de pose, les hautes tensions, le mélange gazeux.

Dans ces conditions, la moyenne arithmétique est $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{N}$, c'est ce que l'on a appelé jusqu'à présent la moyenne par fil.


65520 COUPS
SPECTRE AVEC LOGIQUE BRUT POSE 5MN
FE 55
32760 COUPS
0
FIG V.3A
REPR09.UBE
511 NO FIL


65520 COUPS
SPECTRE AVEC LOGIQUE NORME POSE 5MN
FE 55
32760 COUPS
0
FIG V.3B
UBER09.COR
511 NO FIL

L'écart absolu moyen est $E_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} |x_i - \bar{x}|}{N}$

c'est ce que l'on a appelé l'écart lors de la définition de la linéarité différentielle sur les spectres normés.

On peut donc aussi parler de variance

$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \{x_i - x\}^2}{N}$, d'écart type σ et de coefficient de

dispersion $\gamma = \frac{\sigma}{\bar{x}}$ ou en pourcentage $\gamma\ \% = 100 \times \frac{\sigma}{\bar{x}}$.

On peut déduire que les spectres normés suivent plus sensiblement une loi normale que les spectres bruts. Le Tableau Figure V.4 montre en effet que pour les spectres normés on devrait avoir :

95 % de l'effectif à $\pm 2\sigma$ de $\bar{x}$ et que l'on a en moyenne 92,9 %

68,26 % " $\pm\sigma$ de $\bar{x}$ " " 74,4 %

99,73 % " $\pm 3\sigma$ de $\bar{x}$ " " 98,69%.

8. Lissage

L'examen des histogrammes bruts montre de manière évidente le comportement anormal de certains canaux (amplificateurs détériorés ou mauvais contact sur le connecteur). Comme il n'est pas toujours possible d'apporter un remède matériel à cette situation au cours d'un run, on choisi de remplacer le contenu initial dans le spectre normé du canal jugé défectueux par la moyenne du contenu des deux canaux qui l'entoure.

On estime qu'il y a défaut lorsqu'un résultat s'éloigne de plus de $\pm$ 10σ de la valeur moyenne du spectre normé. On effectue la correction comme indiquée, on calcule la nouvelle valeur de l'écart type σ et l'on cherche les résultats s'écartant de $\pm$ 5σ de la nouvelle moyenne. On opère à nouveau la correction et l'on calcule la moyenne et l'écart type définitif.

On constate l'amélioration très rapide de la dispersion et de la linéarité différentielle au bout de ces deux lissages. Typiquement, le premier lissage concerne 1 fil, le second lissage 5 fils, on passe en moyenne d'une linéarité différentielle de 2,1% à 1,6%; la dispersion

($\gamma\% = 100.\frac{\sigma}{\bar{x}}$) passant de 5,6% à 2,4%.

9. Tableau de calcul

Le Tableau Figure V.4 résume les différents calculs qui peuvent être faits sur des spectres pour chiffrer reproductibilité et effets de la normalisation.

Le tableau comporte des spectres bruts acquis le même jour avec logique pour 2mn et 5mn d'exposition. Ils sont comparés à un spectre pris comme référence. Ces mêmes spectres sont ensuite normés et la comparaison est effectuée avec le spectre de référence également normé par rapport à lui-même (voir également Figure V.3).

Dans le tableau on trouve : la moyenne des coups par fil, la moyenne de la différence fil à fil de chaque spectre par rapport au spectre de référence exprimé en %, la linéarité différentielle de chaque spectre également en %, l'écart type et le nombre de fils s'écartant de la valeur moyenne de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$.

On constate que, la reproductibilité, chiffrée par la moyenne des différences par rapport au spectre de référence est du même ordre de grandeur sur spectre normé que sur spectre brut, mais que la normalisation réduit l'écart type d'un facteur 5 au minimum.

10. Linéarité du taux de comptage

Pour vérifier si le taux de comptage varie linéairement avec l'intensité du flux, toutes choses égales par ailleurs, on a rapproché la source au maximum de la fenêtre d'entrée. Ceci permet d'effectuer la mesure avec une dynamique beaucoup plus significative qu'en plaçant la source au centre de courbure de la chambre. On interpose des épaisseurs successives de papier devant la source et on enregistre les spectres correspondants pendant 4,6secondes. L'utilisation du papier est commode car chaque épaisseur produit une atténuation du flux relativement faible et en prélevant les différents écrans dans la même feuille on obtient une grande uniformité d'épaisseur.

La source étant très divergente, l'épaisseur d'atténuation traversée varie très vite avec l'angle β d'émission, voir Figure V.5. La variation d'épaisseur est donné par

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{1-\cos\beta}{\cos\beta} \quad .$$

En fonction des paramètres de l'expérience, l'angle est donné par

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{R\sin\alpha + \frac{D}{2}}{LR\ (1-\cos\alpha)} \quad \text{avec } s = \alpha R \text{ et } \sin\alpha = \frac{h}{R} \text{ (Figure V.5).}$$

		NOM DU SPECTRE	MOYENNE DES COUPS PAR FIL coups	MOYENNE DES DIFFERENCES/ SPECTRE DE REFERENCE %	LINEARITE DIFFEREN-TIELLE %	ECART TYPE σ coups	NOMBRE DE FILS A $\bar{x} \pm \sigma$	$\bar{x} \pm 2\sigma$	$\bar{x} \pm 3\sigma$
AVEC LOGIQUE 2mn	BRUTS	REPRO7.UBE	17816	REFERENCE	5,42	1371	77	20	11
		04.	17830	1,18	5,53	1389	78	21	10
		05.	17836	1,15	5,15	1372	77	21	11
		06.	17905	1,61	5,44	1642	53	16	7
		(BRUIT)	58						
	NORMES	UBERO7.COR	17814	REFERENCE	2.10^{-3}	0,66	42	42	0
		04.	17827	1,05	1,04	327	50	5	4
		05	17836	1,14	1,14	274	96	17	4
		06	17898	1,66	1,59	971	3	3	1
AVEC LOGIQUE 5mn	BRUTS	REPR13.UBE	44932	REFERENCE	5,04	3392	77	20	12
		09.	44655	0,84	5,09	3386	82	20	11
		11.	44893	0,65	5,00	3370	82	20	11
		(BRUIT)	438						
	NORMES	UBER13.COR	44931	REFERENCE	1,2	2	232	40	1
		09.	44651	0,85	0,68	382	123	19	3
		11.	44891	0,65	0,64	358	125	67	9

fig V.4

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{1-\cos\beta}{\cos\beta}$$

$$(\Delta e = x - e \qquad x = \frac{e}{\cos\beta})$$

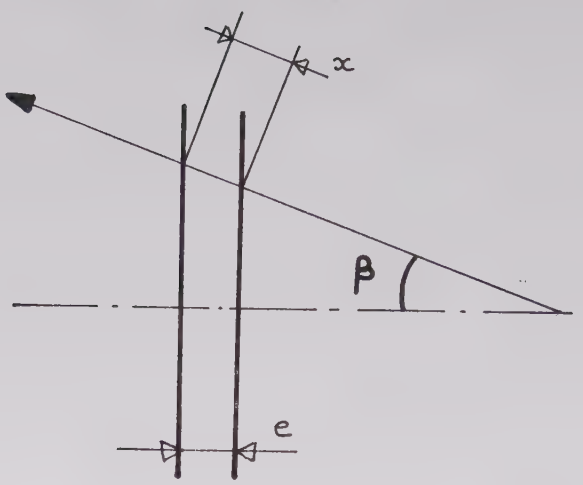
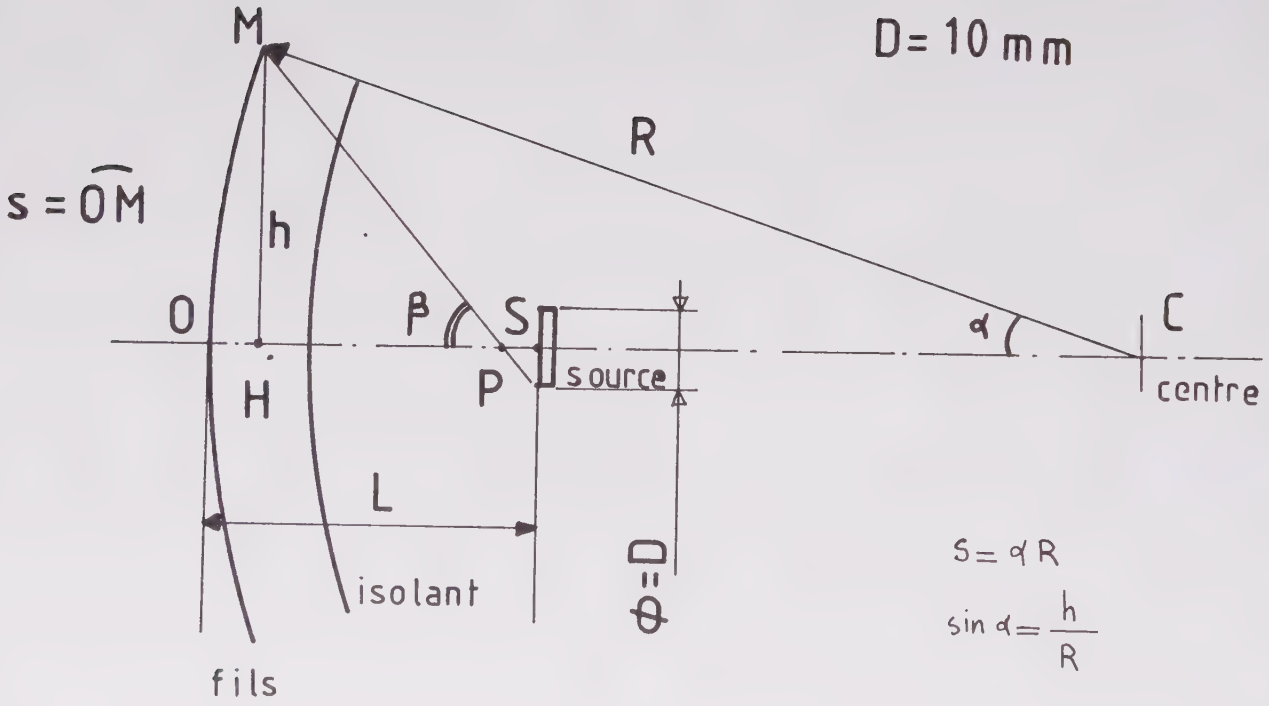


fig V.5

R = 600 mm

L = 135 mm

D = 10 mm



$$s = \alpha R$$

$$\sin\alpha = \frac{h}{R}$$

$$tg\,\beta = \frac{h + \frac{D}{2}}{L - R(1-\cos\alpha)}$$

Si l'on tolère une variation maximum de l'épaisseur de 2%, l'angle β fait 11,37 degrés. Il s'ensuit que seuls les fils vus sous cet angle ou un angle inférieur devront être pris en considération pour l'évaluation du taux de comptage. Ceci correspond à 20 intervalles de fils ; par raison de symétrie on fera donc le calcul sur les 41 fils au centre des spectres.

Le tableau et la courbe de la Figure V.6 donnent les valeurs numériques obtenues. On constate que l'atténuation logarithmique en fonction de l'épaisseur est bien obtenue, avec un écart atteignant au plus 2,8 %. On peut donc dire qu'il y a bien proportionnalité du taux de comptage avec le flux dans la gamme où il a été possible de faire l'expérience ($1,8.10^6$ coups par seconde sur l'ensemble de la chambre).

11. Spectre d'une grille périodique

Un spectre a été relevé, source non diaphragmée au centre de courbure et écran en laiton placé à 30mm de l'isolant de la chambre, soit donc à 80mm des fils. Cet écran de 1,5mm d'épaisseur comporte 15 fentes verticales de 4/10 de mm espacées de 5mm.

La pose a duré 10mn, la tension de seuil était de 5V.

La Figure V.7 montre le spectre brut obtenu. On voit clairement délimitées les dimensions de l'écran par deux zones d'éclairage intense. La disparité entre les canaux latéraux provient du passage à zéro des compteurs un certain nombre de fois du fait de leur saturation. La structure du peigne apparaît nettement au centre, l'espacement entre les pics est de 5mm, on retrouve donc le pas du peigne.

- LINEARITE DU TAUX DE COMPTAGE

NOM DU SPECTRE	Somme des coups sur 41 fils	Moyenne I_i	$\frac{I_0}{I_i}$	Log $\frac{I_0}{I_i}$	$\frac{\text{Log}\frac{I_0}{I_i}}{\text{Log}\frac{I_0}{I_{i+1}}}$	Ecart à la loi Log %	Deviation du A (divisions)	Epaisseur
LINE02.UBI	2220152	54150 (I_0)	1	0	0	0	30	0
LINE04.UBI	1562091	38099	1,4213	0,1527	1	0	21	1
LINE06.UBI	1077489	26280	2,0605	0,3140	2,0563	2,8	15	2
LINE08.UBI	778687	18992	2,8511	0,4550	2,9797	0,67	10	3
LINE10.UBI	547638	13357	4,0541	0,6079	3,9810	0,5	7	4
LINE12.UBI	377788	9214	5,8767	0,7691	5,0367	0,8	5	5
LINE14.UBI	265253	6469	8,3699	0,9227	6,0426	0,67	3	6
LINE16.UBI	182203	4443	12,1850	1,0858	7,1107	1,59	2	7

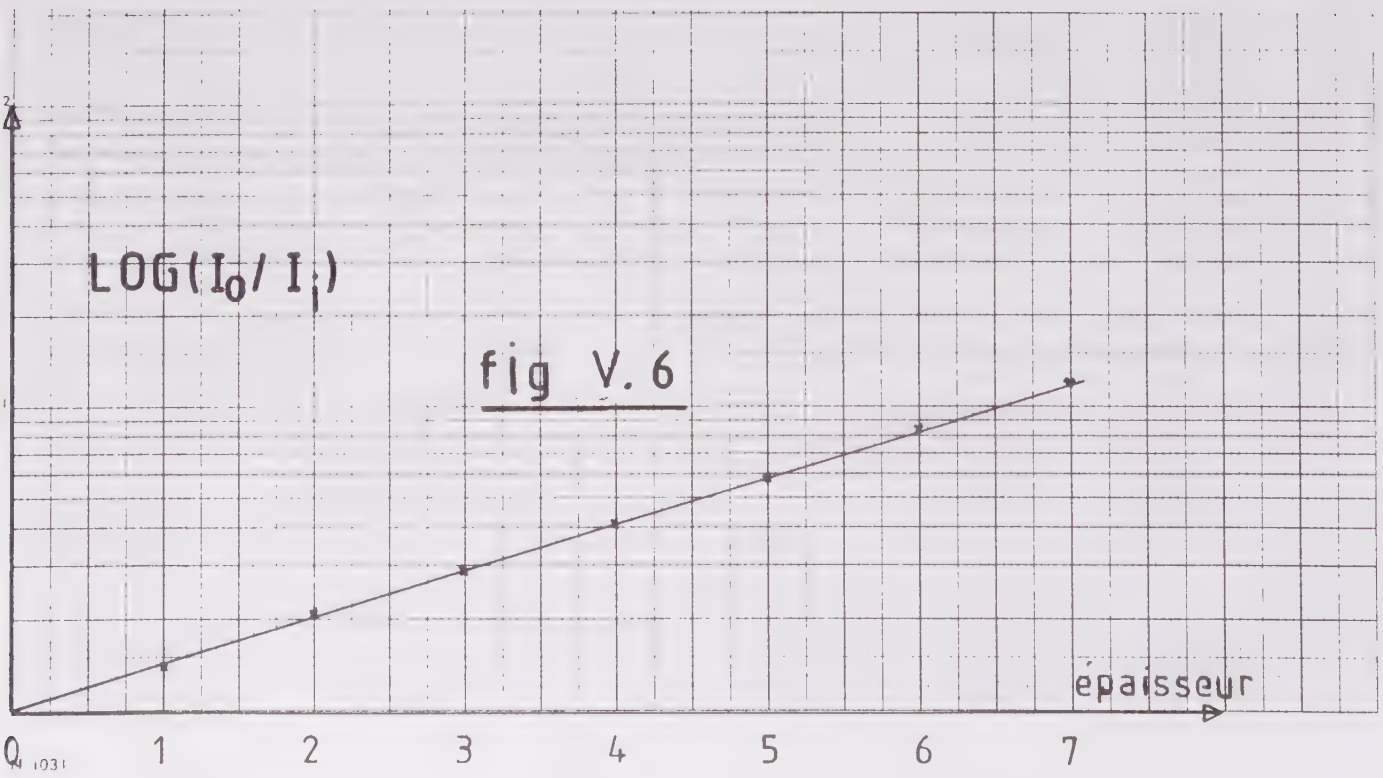


fig V.6

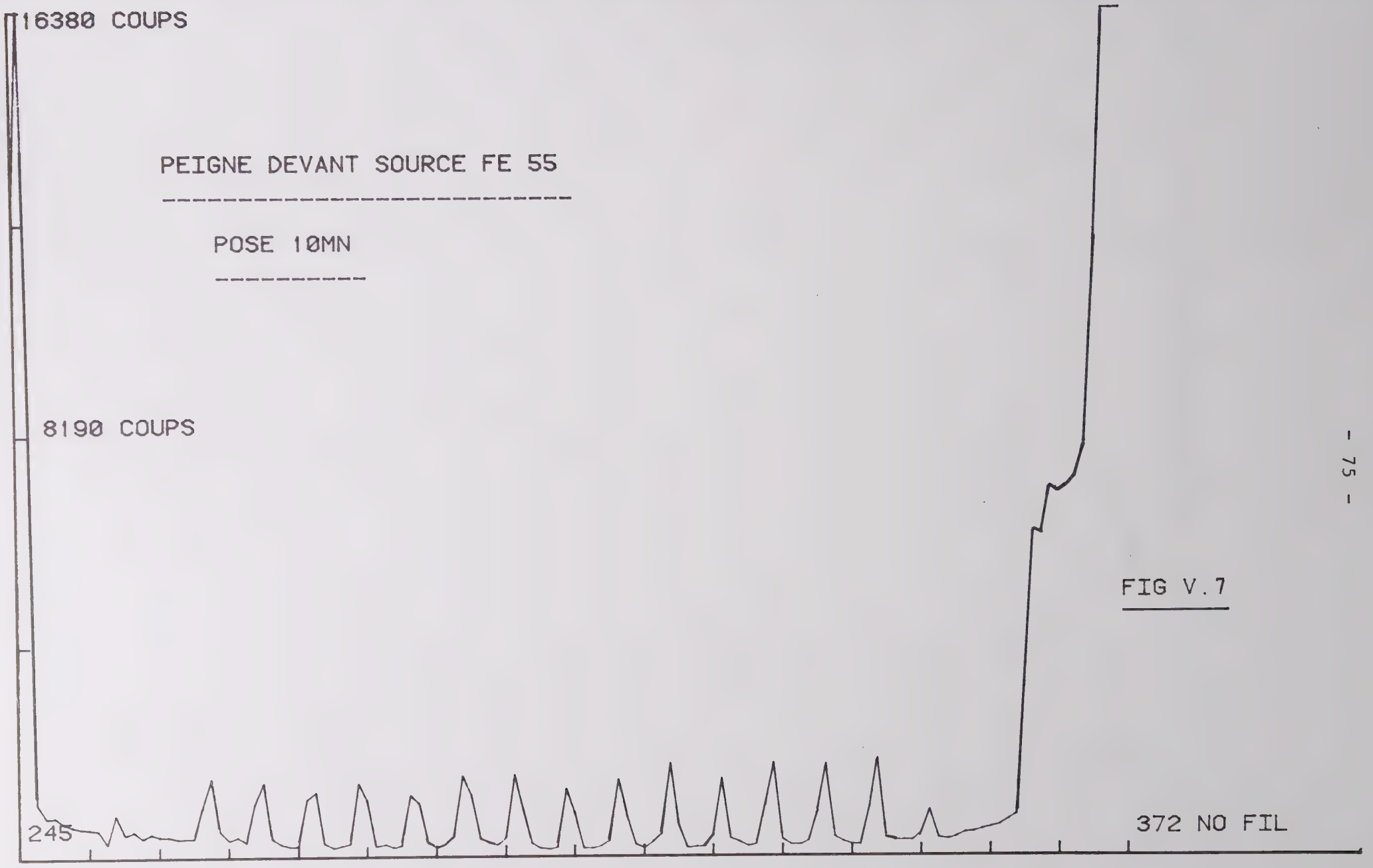

16380 COUPS
PEIGNE DEVANT SOURCE FE 55
POSE 10MN
8190 COUPS
245
372 NO FIL

FIG V.7

VI - ESSAIS DU DETECTEUR SOUS LE RAYONNEMENT SYNCHROTRON

Les essais sous rayonnement synchrotron ont été effectués sur le poste de diffusion D11 de LURE.

1. Description de l'installation

La Figure VI.1 présente le schéma d'ensemble de l'installation.

Les principaux éléments que l'on trouve sont d'amont en aval :

a) le monochromateur

b) la chambre à ionisation

c) les fentes

d) l'échantillon

e) le détecteur

Pour obtenir un fond de diffusion parasite aussi faible que possible la plus grande partie du trajet est sous un vide de 0.01 torr.

a) Monochromateur (Photo VI.1)

Le monochromateur a été conçu par l'équipe de LURE autour de M. Lemonnier et C. Depautex. Il s'agit d'une lame taillée dans un cristal de germanium dont on utilise la réflexion (111) pour sélectionner la longueur d'onde. La bande passante d'environ 2.5×10^{-3} est définie par la divergence horizontale du faisceau et par la courbure du cristal. L'harmonique d'ordre 2 est complètement éliminé par le cristal. L'harmonique d'ordre 3 est fortement réduit : le rapport des nombres de photons à λ et $\lambda/3$ dans le faisceau de sortie est de quelques $6{,}6.10^{-2}$ pour $\lambda = 1{,}5$ Å. L'angle de taille conduit pour la dimension horizontale du faisceau monochromatique à un coefficient de réduction de l'ordre de 10 par rapport au faisceau incident. Le cristal est monté sur une platine mobile autour de son axe vertical permettant de faire varier l'angle d'incidence du faisceau et par là la longueur d'onde sélectionnée. Le banc de diffusion monté sur coussin d'air peut suivre le faisceau lors du changement de longueur d'onde. Le monochromateur est monté dans une enceinte sous vide (0.01 torr) et relié aux tubes à vide du banc par l'intermédiaire d'un soufflet métallique donnant la liberté de rotation à l'ensemble (Photo VI.1).

1- fentes.
2- monochromateur: cristal de Ge (111) courbé.
3- fentes de collimation.
4- chambre à ionisation.
5- porte-filtres.
6- fentes de garde.
7- porte-échantillon thermostaté.
8- arrêteur pour le faisceau direct.
9- détecteur à sensibilité de position.

///faisceau de rayons-X.
---trajet sous vide.
---fenêtres.

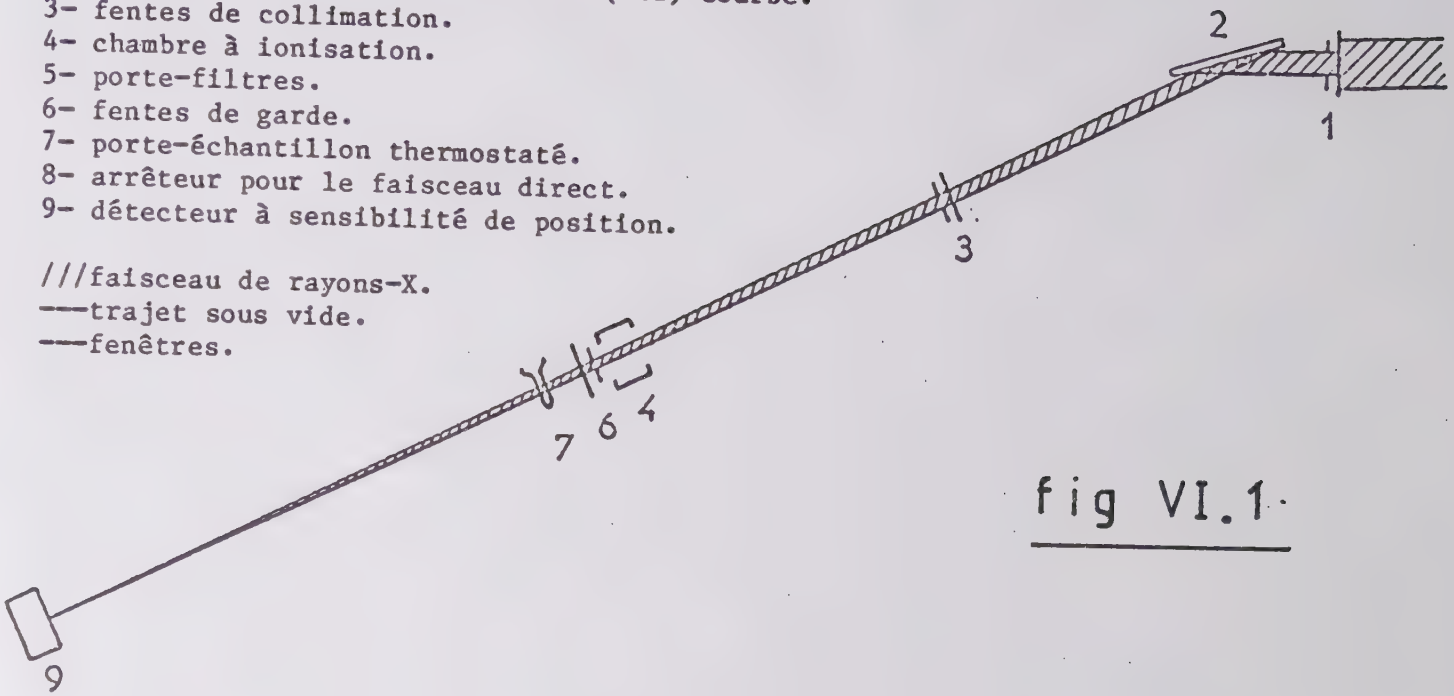
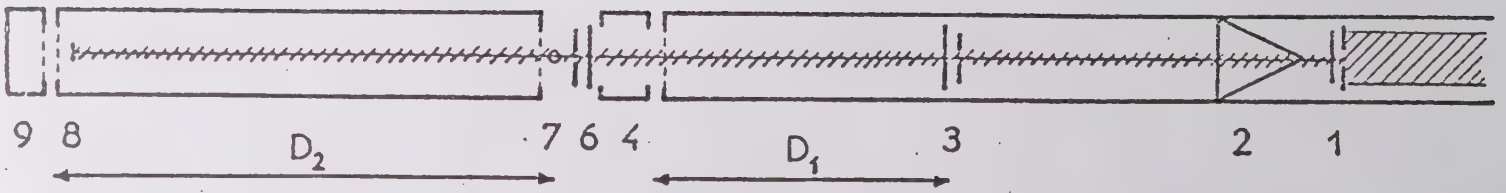


fig VI.1



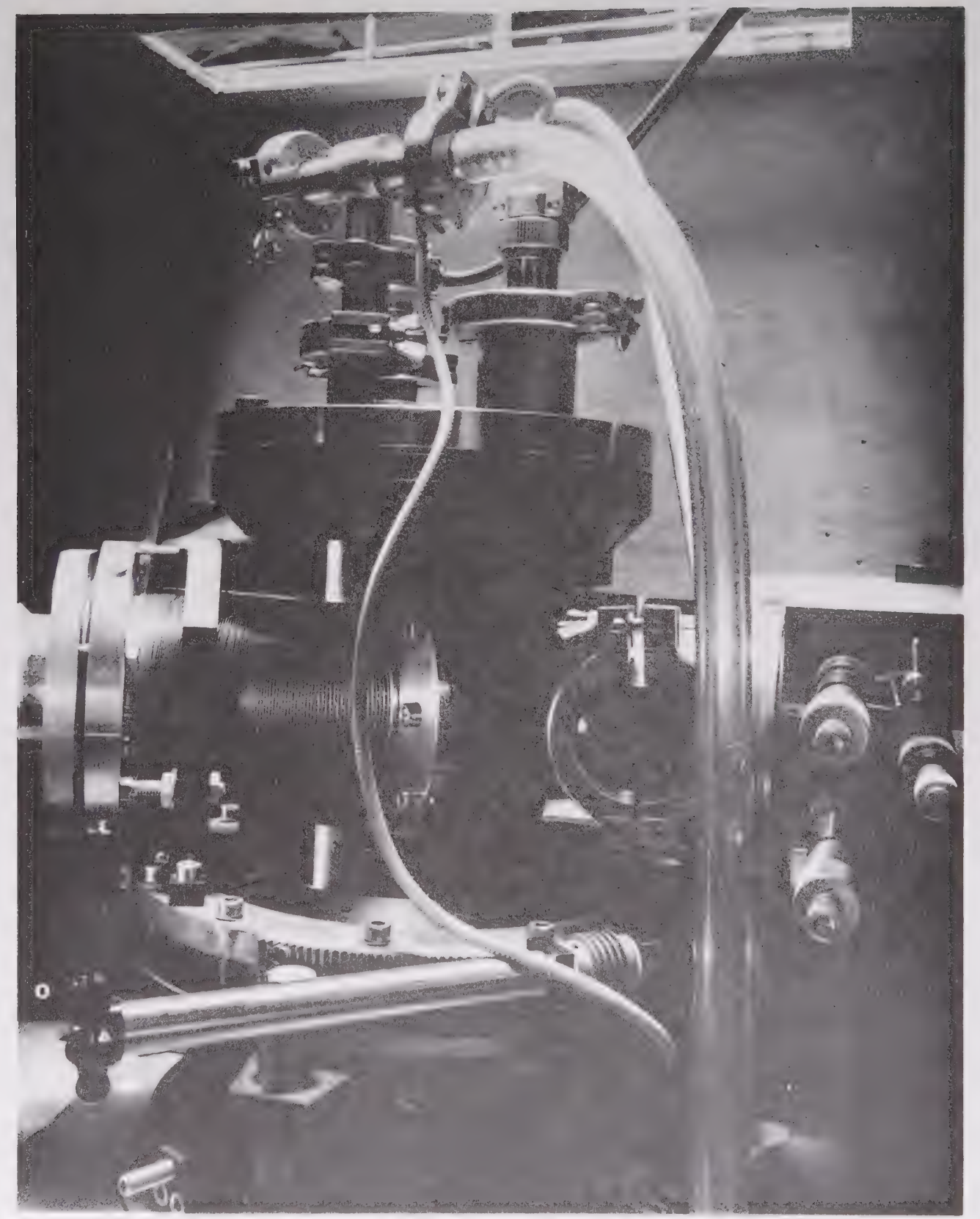


PHOTO VI.1 VUE DU MONOCHROMATEUR

A droite, boîtier des Fentes F_0 sous vide, à gauche, soufflet métallique.

Dans ces conditions, la gamme de longueurs d'onde accessible est de 1 à 3 Å environ - elle dépend bien sûr de l'angle de taille de la lame. Pour des raisons de convenance expérimentale - filtres calibrés, etc - nous travaillons à la longueur d'onde habituelle de 1,54 Å. On calibre le monochromateur en longueur d'onde en utilisant les discontinuités d'absorption de quelques métaux Ni : 1.488 Å, Cu : 1.380 Å -. Il s'agit là d'une méthode extrêmement sensible offrant une précision de l'ordre de 2 à 3 millièmes d'angstroems, de l'ordre de la résolution du monochromateur et en tout état de cause, très suffisante pour nos expériences. La lame de forme triangulaire isocèle est encastrée à la base du triangle et est en contact par sa pointe avec un pointeau mobile dont le déplacement est contrôlé par un moteur à courant continu (Photo VI.2). La lame peut ainsi être courbée, cette courbure permettant de focaliser le faisceau dans le plan horizontal au niveau choisi le long du banc pour l'emplacement du détecteur. En l'absence de toute fente sur le trajet du faisceau, les dimensions de celui-ci dans le plan focal sont de 0,6mm x 5mm.

Les éléments en aval du monochromateur sont montés sur des patins que l'on peut déplacer le long d'un banc optique de fabrication "Micro-Contrôle".

b) Chambre à ionisation

La chambre à ionisation permet le contrôle de l'intensité du faisceau de DCI. Elle est simplement constituée de deux plaques conductrices formant électrodes, d'une largeur dans le sens de propagation du faisceau de 2cm, entre lesquelles est maintenue une tension stabilisée de 250 volts. Le gaz utilisé n'est autre que l'air, ce qui évite d'interposer des fenêtres supplémentaires sur le trajet du faisceau.

c) Les fentes

Il existe trois groupes de fentes, que l'on notera d'amont en aval F_0, F_1, F_2. Chaque groupe est constitué d'une fente horizontale qui délimite la hauteur du faisceau utilisé et d'une fente verticale qui délimite la portion de faisceau utilisé dans le plan horizontal. Elles sont réalisées en tantale, métal qui a été choisi en raison de ses propriétés d'absorption dans la gamme de longueurs d'onde utilisée, de son absence de fluorescence et de ses qualités d'usinage. Le faisceau ayant une très faible divergence verticale, toutes les fentes horizontale sont, en général, réglées à la même hauteur.

Le monochromateur focalise le faisceau direct sur le détecteur, les faisceaux diffusés par l'échantillon focalisent sur le cercle de focalisation, d'où la nécessité d'un détecteur courbe, car s'il était plan, en plus de l'effet de parallaxe, il y aurait élargissement des raies.

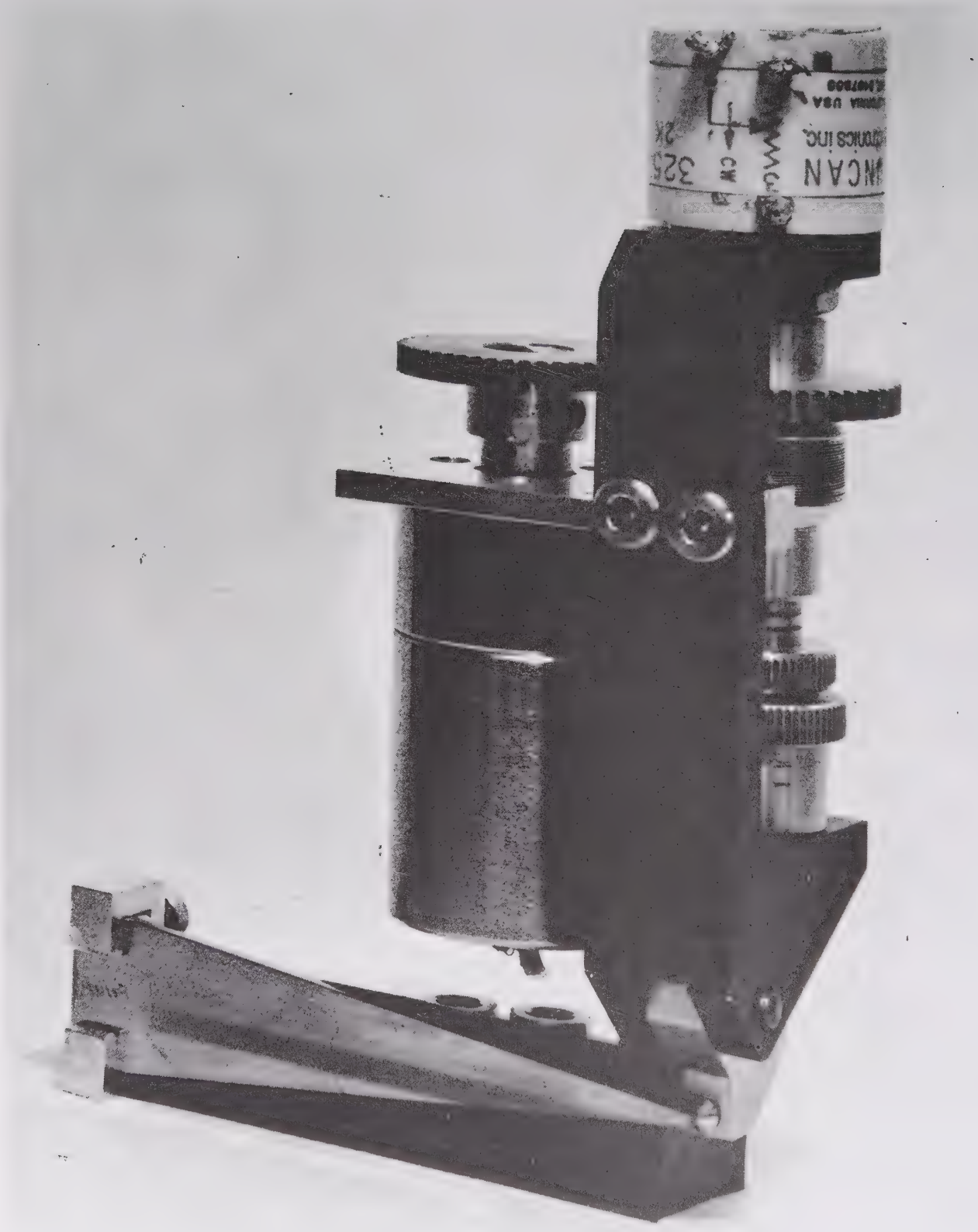


PHOTO VI.2 Lame triangulaire du monochromateur et moteur pas à pas déplaçant le pointeau qui, appuyant sur la pointe du triangle, courbe la lame.

La Fig. VI.2.a montre ce qui se passe dans le plan horizontal et illustre l'utilisation qui est faite de chaque fente verticale.

Les fentes F_0 limitent le faisceau incident à la partie effectivement utilisée par le monochromateur dans sa focalisation. Les fentes F_1 et F_2 ont à la fois un rôle de collimation (délimitation du faisceau) et un rôle de garde (élimination du diffusé produit par les obstacles que rencontre le faisceau avant elles). C'est surtout dans ce dernier rôle qu'elles sont employées, le rayonnement synchrotron et le monochromateur assurant la focalisation dans les plans verticaux et horizontaux.

Les fentes F_1, situées à 1m environ après le monochromateur, éliminent le rayonnement parasite de fluorescence provenant du monochromateur.

Les fentes F_2, à 0,5m environ de F_1, éliminent le rayonnement diffusé produit par F_1.

La Photo VI.3 permet de voir, en plus du détecteur, les fentes F_2, la chambre à ionisation, le porte échantillon, et les tubes limitant le trajet dans l'air.

Enfin, en raison de l'extension verticale des fils et de façon à les utiliser sur une grande partie de leur hauteur, on travaille en collimation dite semi-linéaire (Figure VI.2.b).

2. Proportionnalité au temps

En raison de la grande dynamique utilisée dans l'étude de la proportionnalité au flux, il était nécessaire de vérifier la proportionnalité au temps de pose. Les temps de pose de chaque spectre sont ajustés de manière à donner une statistique suffisante sur le nombre de coups obtenus, quel que soit le flux incident. Les comparaisons sont faites en se ramenant par interpolation ou extrapolation à une durée unique. D'où l'intérêt de cette vérification.

On prend, dans les mêmes conditions expérimentales, le spectre correspondant au temps de pose le moins long comme référence, et l'on fait, pour chaque spectre, le rapport de la somme des coups obtenus sur l'ensemble du détecteur à celle du spectre de référence.

Q_T = rapport des temps Q_c = rapport des sommes de coups

l'écart en % est chiffré par $Q\ \% = \frac{Q_T - Q_c}{Q_T} \times 100$

La proportionnalité est, en général, vérifiée à mieux que 3 %, elle est souvent meilleure que 1 %.

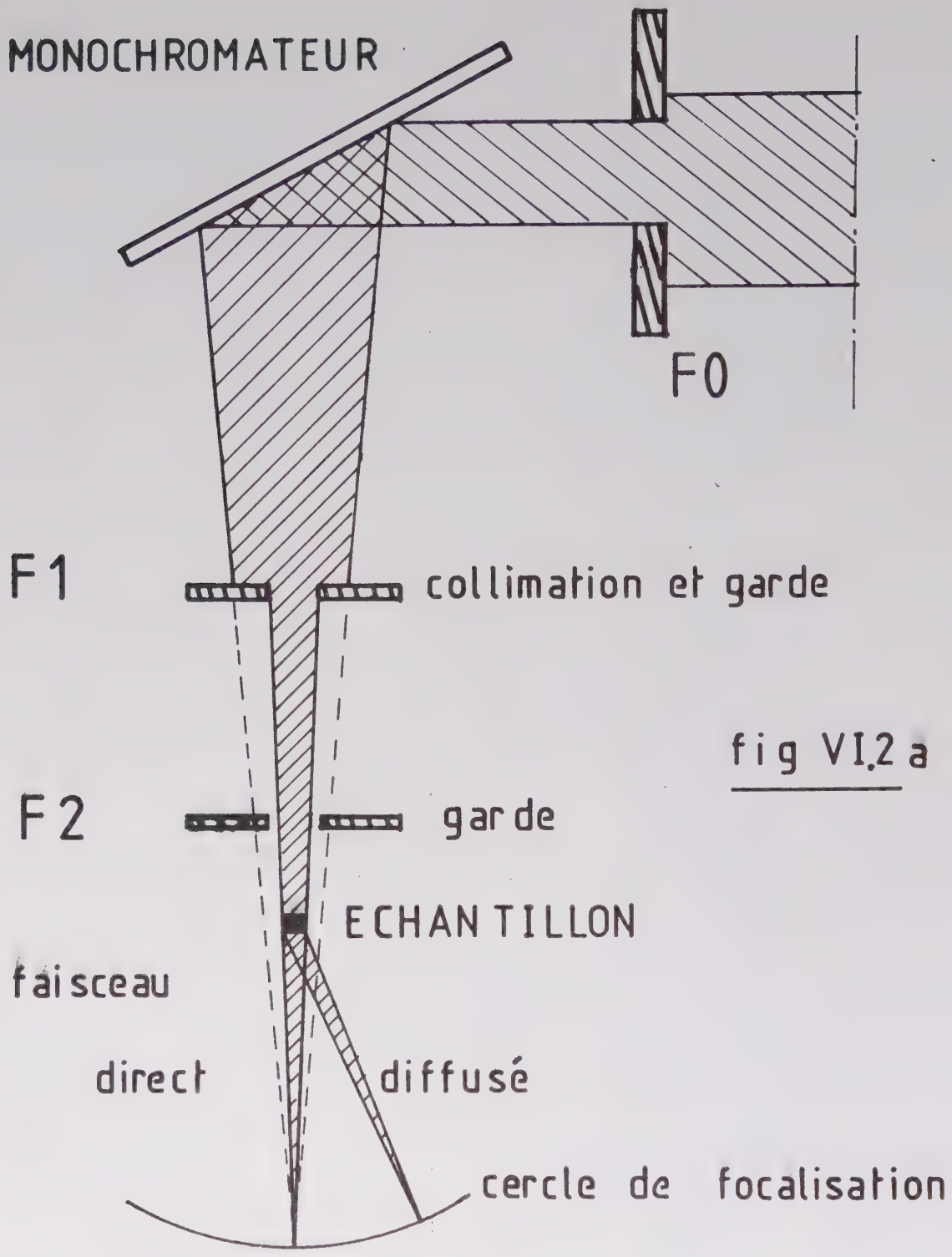


fig VI.2 a

FENTES - principe du réglage

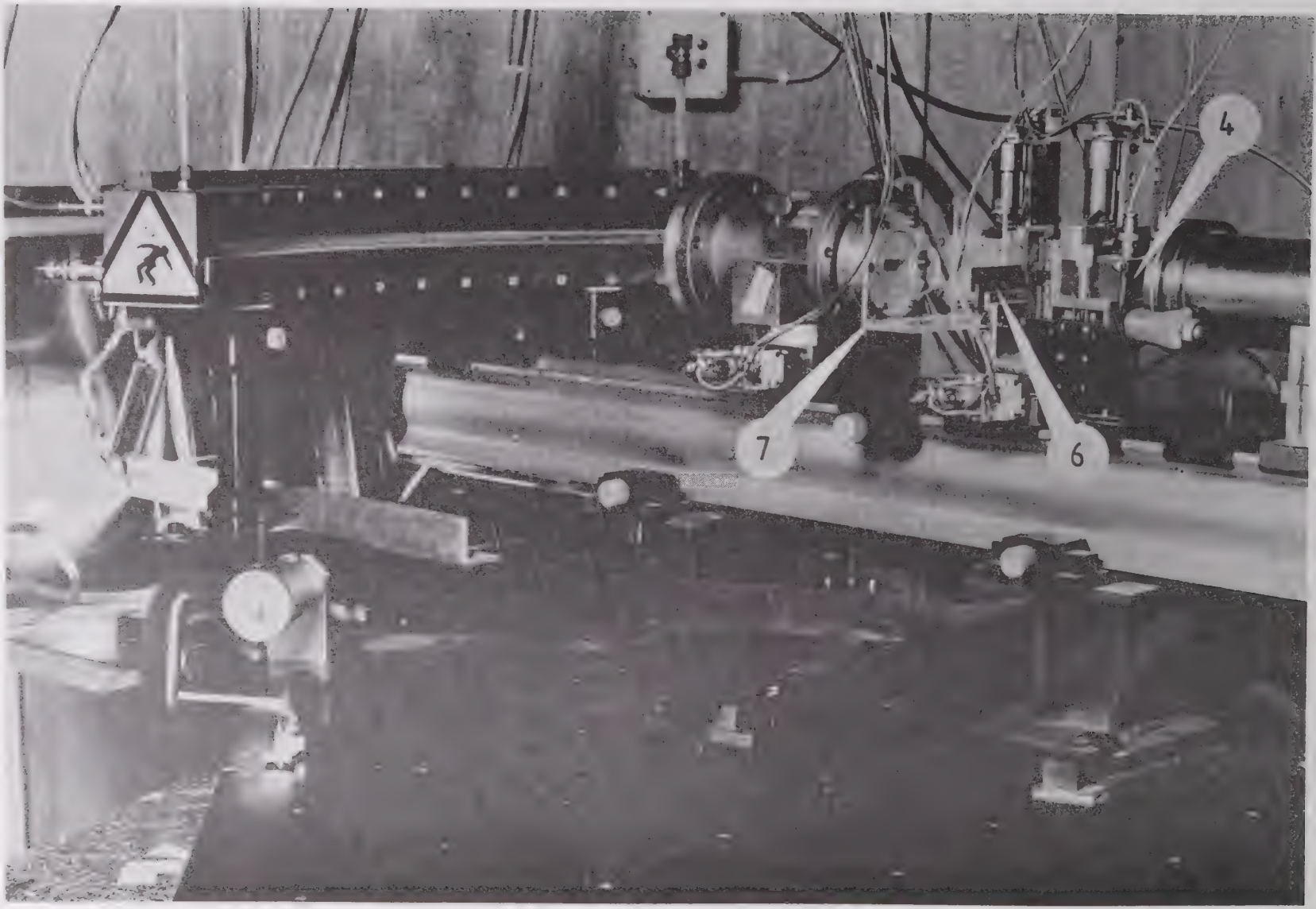


PHOTO VI.3 MONTAGE POUR ESSAIS EN LUMIERE SYNCHROTRON

4. chambre à ionisation 6. fentes de garde F_2 7. porte échantillon

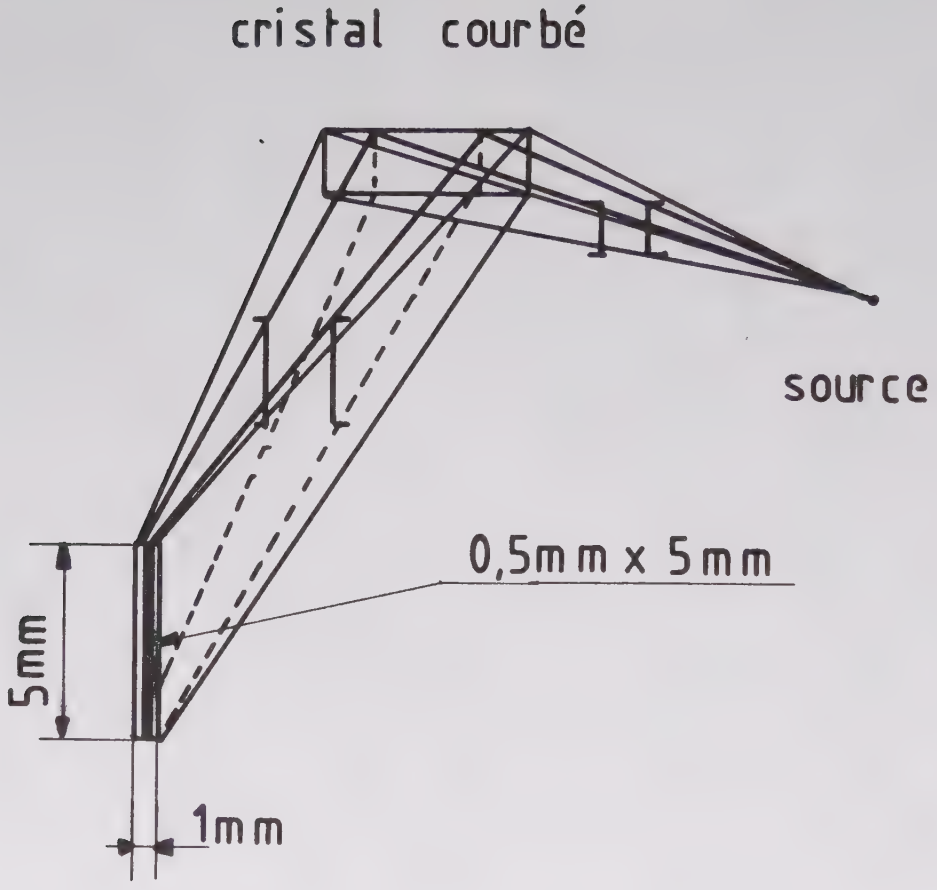


fig VI.2b

Collimation lineaire tache focale obtenue

3. Normalisation avec le carbone

a) Nécessité d'une méthode de normalisation

On a vu dans les essais avec la source de Fe55 que le détecteur était constitué d'autant de détecteurs que de fils en fonction et que la dispersion de leurs réponses rendait la normalisation de celles-ci nécessaire. Ceci était fait à partir d'une irradiation uniforme de la chambre avec la source de Fe55. Par ailleurs, on sait que les fils travaillant en régime proportionnel leur réponse est proportionnelle à l'énergie des photons incidents. Dans le cas des expériences sur DCI, la longueur d'onde utilisée est plus faible, typiquement la raie Kα du Cu (1,54 Å) lors des premiers essais. On doit donc s'attendre à une réponse différente des fils, un certain nombre de canaux, de "gain un peu faible" à 2,1 Å, pourront donner une réponse parfaitement correcte à 1,54 Å. Il est donc nécessaire de disposer d'une méthode d'étalonnage à la longueur d'onde de travail.

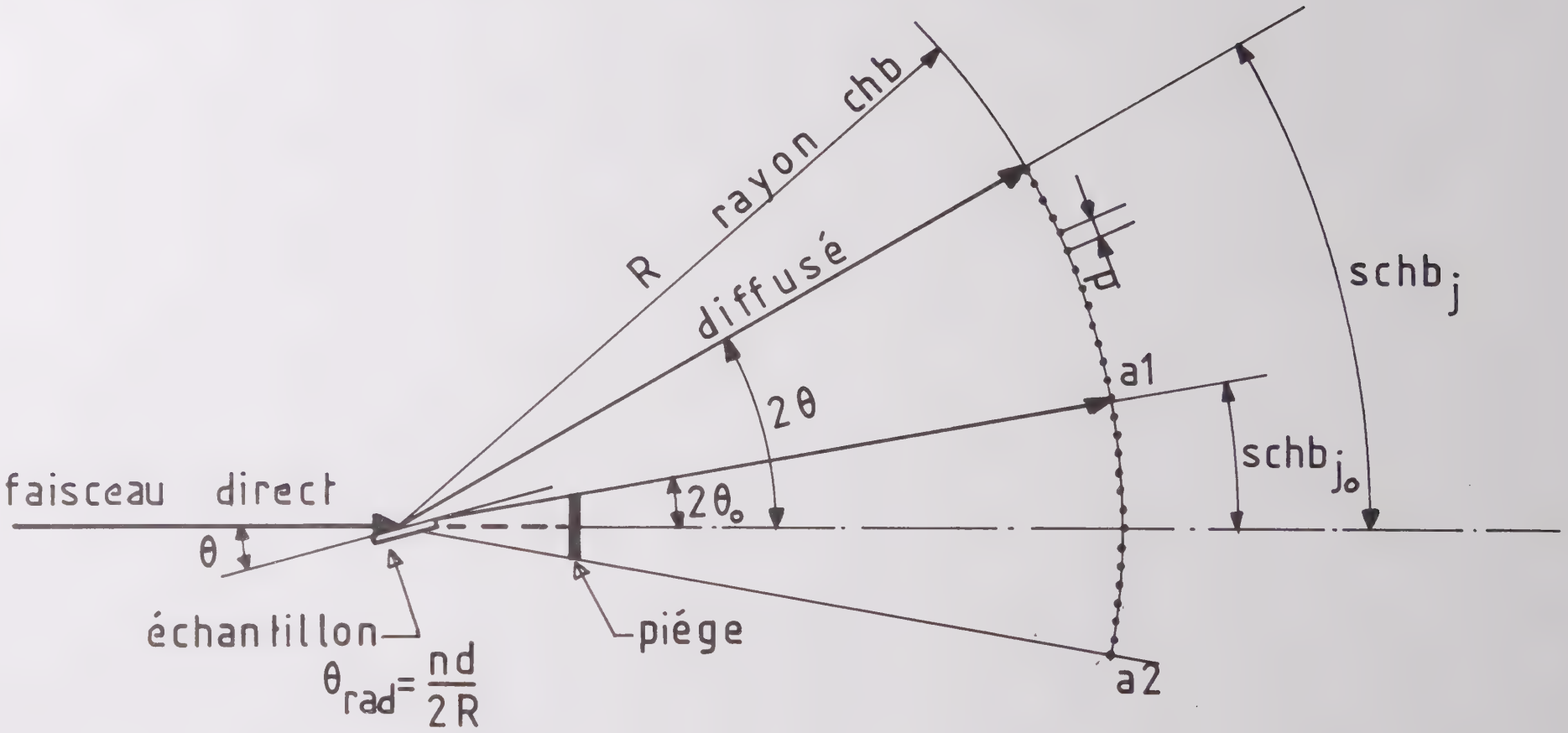
On utilise le spectre du noir de carbone qui a été relevé à 1,54 Å au Laboratoire de Génétique Moléculaire de Gif-sur-Yvette sur un tube à rayons X. Ce spectre nous sert de référence, on le compare au spectre que nous donne le détecteur placé dans des conditions expérimentales similaires mais en irradiant le carbone avec le rayonnement de DCI. L'échantillon de carbone est placé au centre de courbure du détecteur et on relève son spectre en limitant le temps de pose de manière à ne saturer aucun fil.

L'étalonnage dont on dispose est limité à un domaine angulaire plus petit que celui couvert par la chambre. Le montage de Gif sur Yvette sur lequel il a été relevé n'est prévu que pour les petits angles. La zone centrale correspond à l'ombre du piège à rayons X placé pour arrêter le faisceau direct.

b) Calcul du spectre étalon pour le détecteur

Le spectre étalon de Gif est gradué en $s = \frac{2\sin\theta}{\lambda}$, il débute à $s_1 = \frac{2\sin\theta_1}{\lambda}$, celui de la chambre débute à une abscisse supérieure $s_o = \frac{2\sin\theta_o}{\lambda}$. Le faisceau diffracté faisant l'angle 2θ avec le faisceau incident on obtient sur la chambre (Figure VI.3) $\theta_{rad} = \frac{nd}{2R}$.

CALCUL du SPECTRE ETALON du CARBONE



n = nombre d'intervalles interceptés

fig VI.3

Si l'on appelle a_2 et a_1 les numéros des fils limitant l'ombre du piège leur abscisse par rapport au faisceau direct (s = 0) sera dans le spectre de Gif, $schb_{jo} = \frac{2}{\lambda} \sin \frac{a_2 - a_1}{4R} d$ et l'abscisse du fil courant j sera $schb_j = \frac{2}{\lambda} \sin \left[\frac{a_2 - a_1}{4R} d + \frac{jd}{2R} \right]$.

Le pas du spectre de Gif est $s_{gif} = 2{,}05.10^{-4} \text{Å}^{-1}$. Si l'on considère qu'il est constitué d'une succession de valeurs numérotées de 0 à M avec la valeur courante i, la valeur étalon A_i à comparer à celle A_j du fil j de la chambre est telle que $i = INT \left[\frac{schb_j}{s_{gif}} \right]$. Plus généralement, en extrapolant entre les valeurs A_i et A_{i+1} la valeur A'_i à comparer au contenu A_j du compteur du fil j sera :

$$A'_i = A_i + \left[A_{i+1} - A_i \right] FRAC \left[\frac{schb_j}{s_{gif}} \right] \quad \text{avec } i = INT \left[\frac{schb_j}{s_{gif}} \right] \ *$$

La Figure VI.4 représente le spectre étalon obtenu.

c) Méthode de normalisation

Comme avec le Fe55 on opère en deux étapes. On détermine d'abord un spectre des coefficients de correction à appliquer à la réponse de chaque fil puis à l'aide de ce spectre on corrige les réponses des fils sur les différents spectres expérimentaux.

α) Spectre des coefficients de correction

Un spectre est choisi pour servir de base au calcul. On le transforme selon un facteur d'échelle de telle manière que son intégrale soit égale à celle du spectre étalon du détecteur. Soit A_j l'amplitude du point courant de ce spectre et A'_i la valeur correspondante pour le fil j du spectre étalon, le coefficient de correction pour le fil j est $C_j = \frac{A'_i}{A_j}$.

---

* INT [ ] = partie entière de [ ]
FRAC [ ] = partie fractionnaire de [ ]

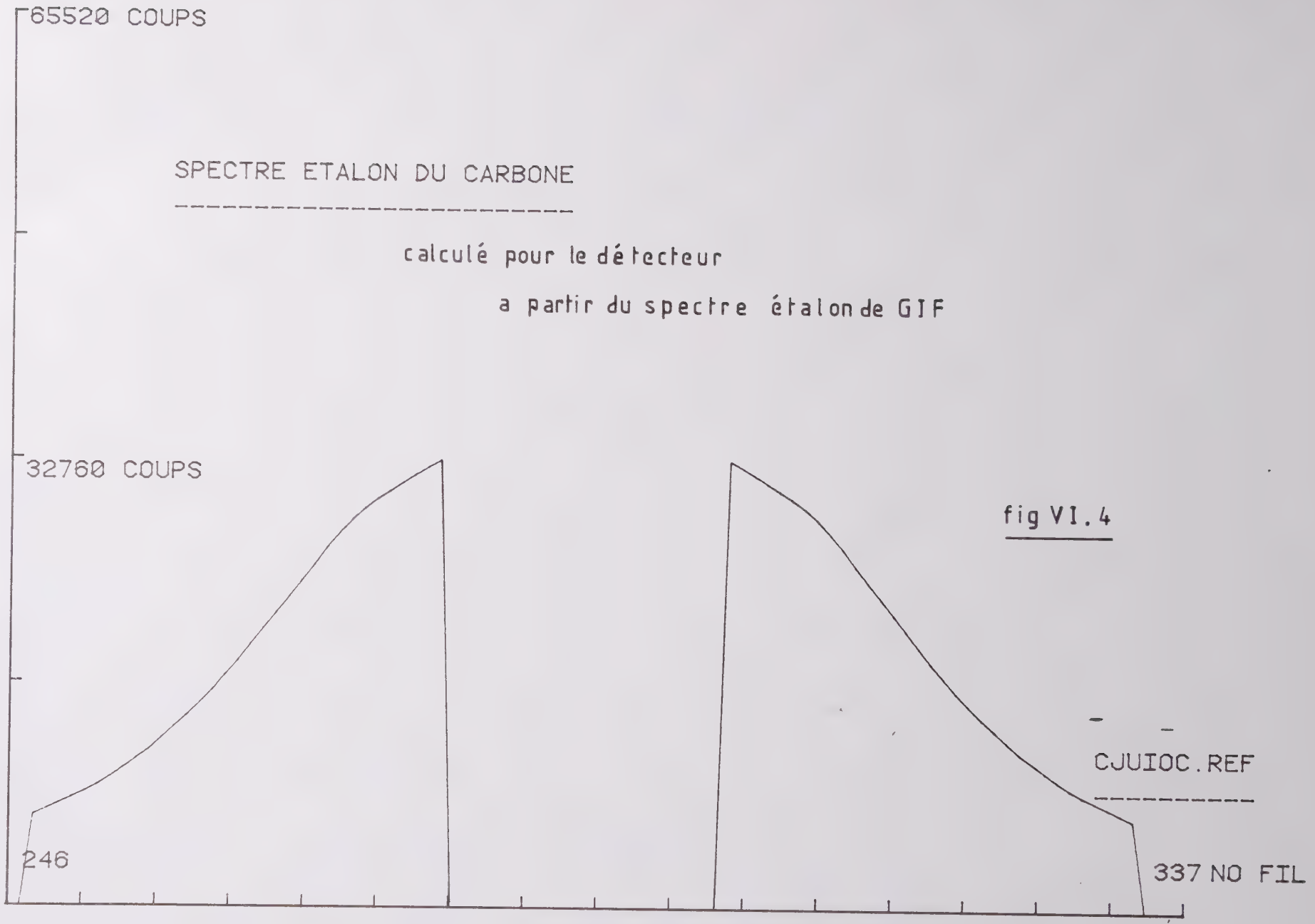

65520 COUPS
SPECTRE ETALON DU CARBONE
calculé pour le détecteur
a partir du spectre étalon de GIF
32760 COUPS
246
CJUIOC.REF
337 NO FIL

fig VI.4

β) Spectre corrigé

Soit B_j l'amplitude du spectre à corriger pour le fil j. L'amplitude corrigée sera $B_{jcor} = C_j \times B_j$. Pour comparer le résultat obtenu au spectre étalon, on transforme ensuite ce spectre corrigé selon son facteur d'échelle calculé comme indiqué en α).

d) Résultats

Les Figures VI.5 et VI.6 montrent un spectre brut et son spectre corrigé et ramené à l'échelle du spectre étalon, le spectre étalon est superposé à ce dernier spectre.

Pour chiffrer les résultats obtenus on soustrait le spectre étalon des spectres corrigés et transformés par le facteur d'échelle. On opère de même avec les spectres bruts après les avoir eux aussi transformés par le facteur d'échelle.

Le rapport exprimé en pourcent de la somme des écarts par rapport au spectre étalon à l'intégrale du spectre étalon est compris entre 8,2 et 10 % pour les spectres bruts. Il est compris entre 1 et 3,6 % pour les spectres corrigés.

4. Proportionnalité au flux

Le but est de déterminer la réponse du détecteur à des flux incidents croissants.

a) Méthode

On interpose sur le trajet du faisceau direct sortant du monochromateur des filtres de Nickel dont l'atténuation est connue pour la longueur d'onde de 1,54Å. On diminue progressivement l'atténuation et l'on règle le temps d'acquisition de chaque spectre de manière à ne saturer aucun fil du détecteur. La proportionnalité au temps, vérifiée par ailleurs, permet de rapporter toutes les acquisitions à une durée unique sans introduire d'erreur importante tout en ayant un taux de comptage significatif à chaque fois.

b) Difficultés de la mesure

Le monochromateur laissant passer une partie du rayonnement en $\lambda/3$, il en résulte que le détecteur reçoit à la fois du rayonnement en λ et en $\lambda/3$. L'atténuation produite par les filtres n'ayant pas la même valeur pour ces deux longueurs d'onde, il est nécessaire de déterminer par le calcul, pour vérifier la linéarité, l'intensité à attribuer à chacune d'elle.

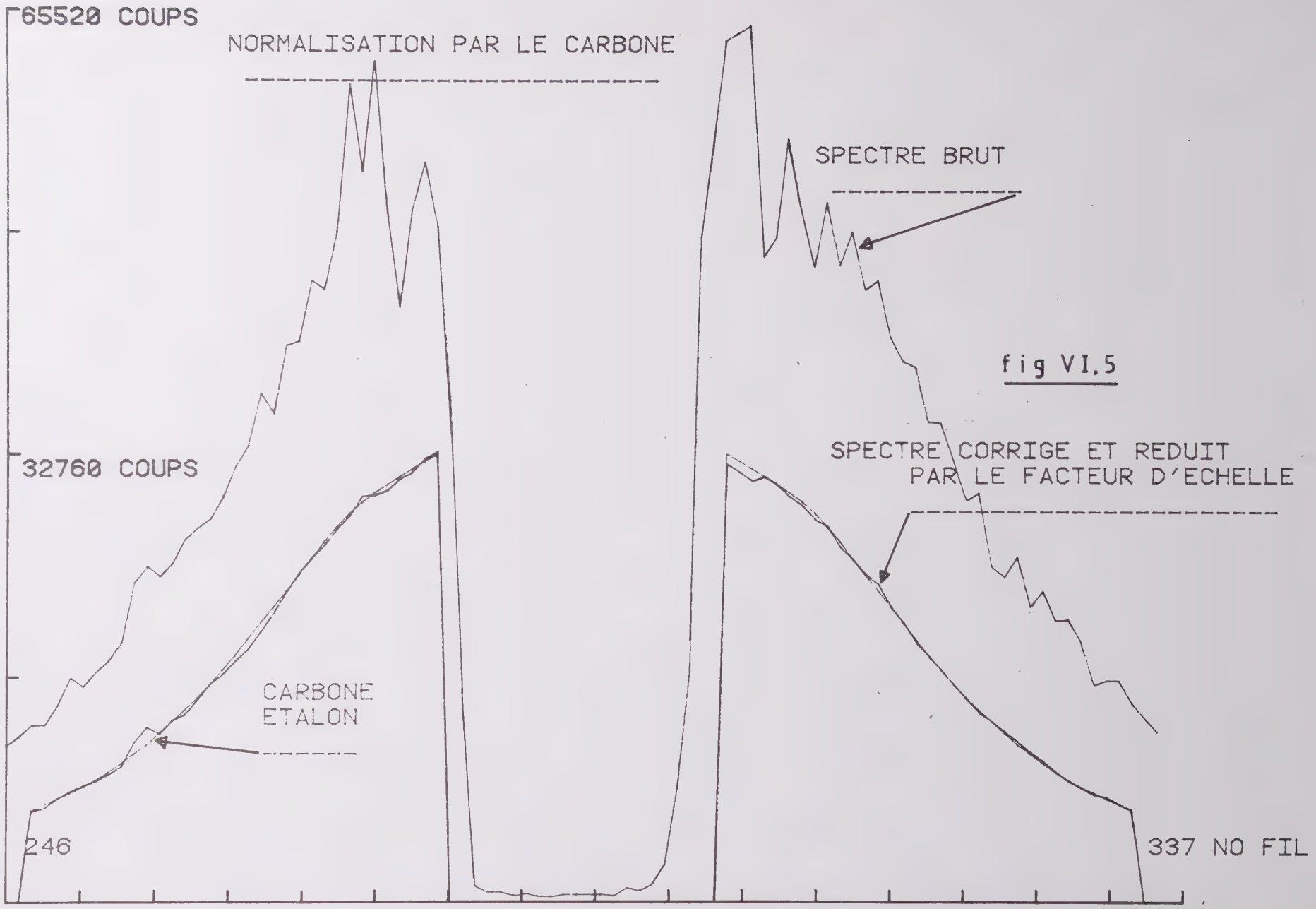

65520 COUPS
NORMALISATION PAR LE CARBONE
SPECTRE BRUT
32760 COUPS
SPECTRE CORRIGE ET REDUIT
PAR LE FACTEUR D'ECHELLE
CARBONE
ETALON
246
337 NO FIL

fig VI.5

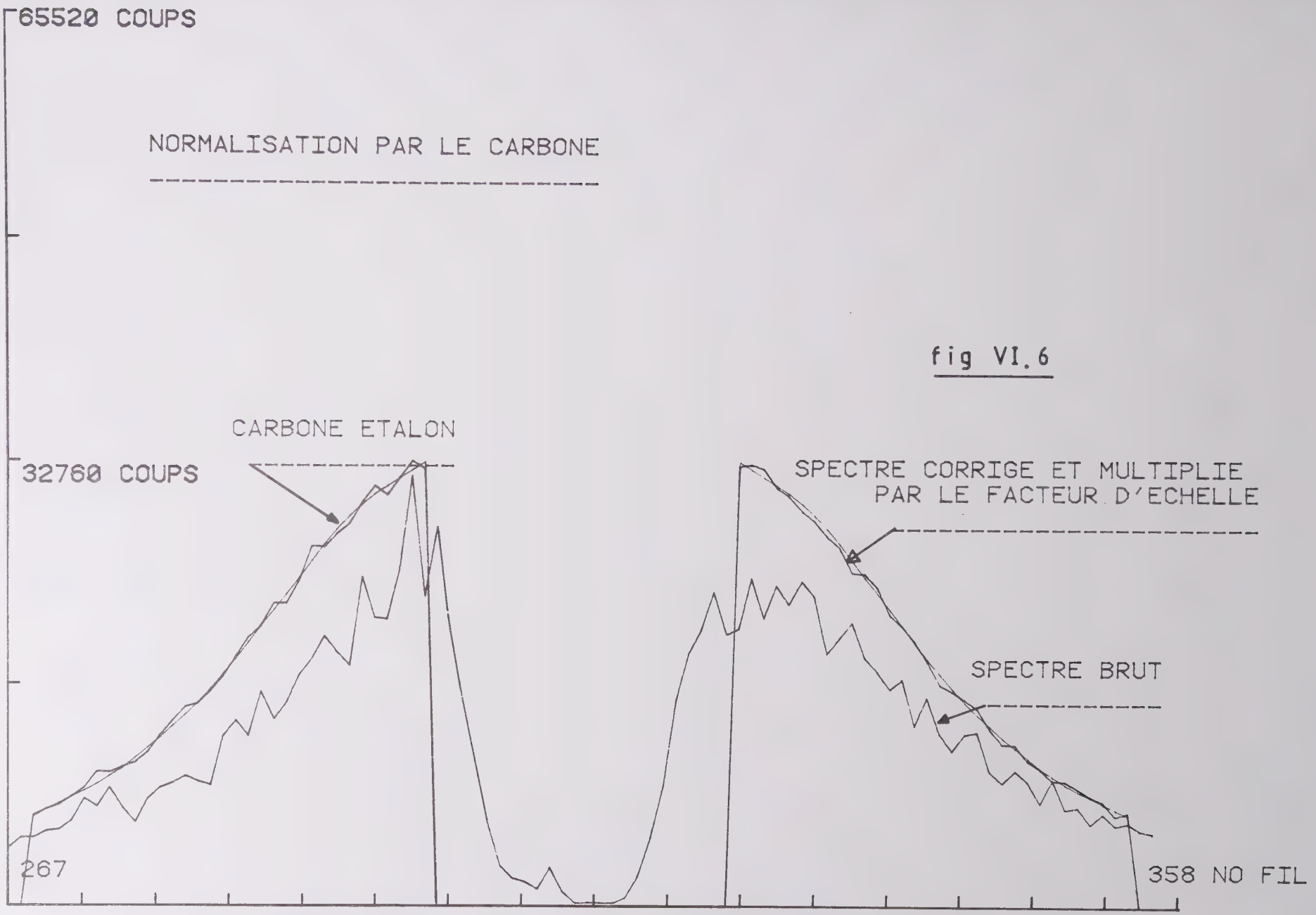

65520 COUPS
NORMALISATION PAR LE CARBONE
CARBONE ETALON
32760 COUPS
SPECTRE CORRIGE ET MULTIPLIE
PAR LE FACTEUR D'ECHELLE
SPECTRE BRUT
267
358 NO FIL

fig VI.6

c) Calculs

α_1) Formule générale

L'intensité du rayonnement de longueur d'onde λ = 1,54 Å atteignant la chambre est $I_\lambda = \frac{I_{o\lambda}}{K_\lambda}$ et celle du rayonnement de longueur d'onde $\lambda/3$ = 0,5133 est $I_{\lambda/3} = \frac{I_{o\lambda/3}}{K_{\lambda/3}}$ K_λ étant le coefficient total d'atténuation en λ et $K_{\lambda/3}$ le coefficient total d'atténuation en $\lambda/3$, chacun représentant la contribution de tous les milieux traversés.

Le rapport des intensités atteignant la chambre est donc

$$\frac{I_{(\lambda)}}{I_{(\lambda/3)}} = \frac{I_{o(\lambda)}}{I_{o(\lambda/3)}} \times \frac{K_{\lambda/3}}{K_\lambda}$$

$I_{o\lambda}$ étant l'intensité émise par l'anneau en λ

$I_{o\lambda/3}$ étant l'intensité émise par l'anneau en $\lambda/3$.

L'intensité mesurée I_m qui se traduit en nombre de coups totalisé par la chambre comporte une contribution en λ et une en $\lambda/3$. Si l'on désigne par α_λ l'efficacité du détecteur pour λ et $\alpha_{\lambda/3}$ celle pour $\lambda/3$ on a :

$$I_m = \alpha_\lambda I_\lambda + \alpha_{\lambda/3} I_{\lambda/3} \text{ et comme } \frac{I_{\lambda/3}}{I_\lambda} = \frac{I_{o\lambda/3}}{I_{o\lambda}} \times \frac{K_\lambda}{K_{\lambda/3}}$$

$$\text{on obtient } \alpha_\lambda I_\lambda = \frac{I_m}{1 + \frac{\alpha_{\lambda/3}}{\alpha_\lambda} \times \frac{I_{o\lambda/3}}{I_{o\lambda}} \times \frac{K_\lambda}{K_{\lambda/3}}} = \Sigma_\lambda$$

avec $I_m = \Sigma_T$ et $\Sigma_{\lambda/3} = \Sigma_T - \Sigma_\lambda$.

α_2) Efficacité du détecteur

On trouve pour le mélange de gaz (70 % d'Argon et 27 % d'Isobutane), α_λ = 0,51 et $\alpha_{\lambda/3}$ = 0,03.

β) Emission de l'anneau en λ et en $\lambda/3$

Les courbes des intensités relatives à 1,72 Gev et 1,8 Gev donnent un rapport de 0,3 pour 0,5 Å et de 0,7 pour 1,5 Å.

La courbe du nombre de photons/Å/s/mrad horizontal émis par DCI dans une ouverture verticale de 1mrad donne à 1,8 Gev :

0,18 pour 0,5 Å et 5,9 pour 1,56 Å .

Le rapport des intensités à λ et $\lambda/3$ à 1,72 Gev est donc

$$\frac{I_o}{I_{o\lambda/3}} = \frac{5,9 \times 0,7}{0,18 \times 0,3} = 76,5$$

γ) Rapport des atténuations

Il se décompose en une partie invariable pendant toute l'expérience et qui est constituée par l'atténuation due aux fenêtres de Berylium, au monochromateur, à l'air ; et une partie variable dépendant des filtres utilisés.

γa) Atténuation des fenêtres de Be

Pour une épaisseur totale de 325 µm = 0,0325cm on a

$$\frac{k_\lambda}{k_{\lambda/3}} = \frac{e^{-\mu_2 x}}{e^{-\mu_1 x}} \quad \text{avec} \quad \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_\lambda = 1,6 cm^2 g^{-1} \quad \text{et}$$

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\lambda/3} = 0,21 cm^2 g^{-1} \quad \rho = 1,85 \text{ d'où } \frac{k_\lambda}{k_{\lambda/3}} = \frac{1}{0,93}$$

γb) Influence du monochromateur (1978 Hashizume)

L'angle d'acceptance est $\omega_o = \omega_s / b$ et l'angle d'émergence $\omega_h = \omega_s \, b$ avec $b = \sin(\Theta_B - \alpha)/\sin(\Theta_B + \alpha)$

et $\omega_s = \dfrac{2e^2\lambda^2 |F_h|}{mc^2 V \sin 2\Theta_B}$

F_h étant le facteur de structure du cristal
V le volume de la cellule unité du cristal
Θ_B l'angle de Bragg
α l'inclinaison du plan de réflexion du cristal.

Il en résulte que le rapport des angles d'acceptance définira le rapport des atténuations en λ et $\lambda/3$.

$$\text{d'où } \frac{k_\lambda}{k_{\lambda/3}} = \frac{I_{\lambda/3}}{I_\lambda} = \frac{\lambda^2/9 |F_{333}|}{\lambda^2 |F_{111}|} = \frac{16,6}{9 \times 26,6} = \frac{1}{14,42}$$

γc) Atténuation de l'air

Le faisceau atténué fait un trajet de 61 cm dans l'air avant d'atteindre le détecteur

pour $\lambda = 1{,}54$ Å $\mu_1 = 0{,}0116 cm^{-1}$

et pour $\lambda = 0{,}5$ Å $\mu_2 = 5.10^{-4} cm^{-1}$

d'où $$\frac{k_\lambda}{k_{\lambda/3}} = \frac{e^{-5x61.10^{-4}}}{e^{-0,0116x61}} = \frac{1}{0,51}$$

γd) Atténuation des filtres

Il s'agit de feuilles Ni de 1/100 de mm superposées, le n° du filtre correspondant au nombre de feuilles qui le composent.

L'atténuation du filtre est de la forme $k = e^{\alpha\frac{\mu}{\rho}}$,

le rapport $\frac{\mu}{\rho}$ étant deux valeurs distinctes pour 1,5 Å et 0,5 Å $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_\lambda = 48{,}10 \quad cm^2 gr^{-1}$

$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\lambda/3} = 19{,}48 \quad cm^2 gr^{-1}$ $\quad \rho = 8{,}9.$

L'atténuation pour $\lambda = 1{,}54$ Å étant connue par étalonnage, on peut en déduire sa valeur pour $\lambda/3$.

$$k_\lambda = e^{\alpha\frac{\mu_1}{\rho}} \qquad k_{\lambda/3} = e^{\alpha\frac{\mu_2}{\rho}} \qquad \text{d'où}$$

$$k_{\lambda/3} = e^{\frac{\frac{\mu_2}{\rho}}{\frac{\mu_1}{\rho}} Logk_\lambda} \quad \text{donc} \quad k_{\lambda/3} = e^{0,405 Logk_\lambda}.$$

Le tableau de la Figure VI.7 donne pour chaque groupement de filtres, la valeur k_λ et la valeur calculée $k_{\lambda/3}$.

γe) Atténuation par le carbone

Celle-ci a été mesurée à Gif-sur-Yvette. La valeur mesurée est de 4,75 pour 1,54 Å.

Avec le carbone, pour 1,54 Å $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_\lambda = 4{,}52 cm^2 gr^{-1}$

et pour 0,5 Å $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\lambda/3} = 0{,}326 cm^2 gr^{-1}$.

Si ρ est la densité du carbone et x l'épaisseur de l'échantillon on a

$$k_\lambda = \frac{1}{e^{-4,52\rho x}} = 4,75 \quad \text{d'où} \quad x = 0,345$$

$$\text{alors } k_{\lambda/3} = \frac{1}{e^{-0,326\rho x}} = 1,12$$

$$\text{soit} \quad \frac{k_\lambda}{k_{\lambda/3}} = \frac{1}{0,24} .$$

γf) Atténuation totale

On a donc dans le cas d'emploi des filtres seuls

$$K_T = \frac{\alpha_{\lambda/3}}{\alpha_\lambda} \times \frac{K_\lambda}{K_{\lambda/3}} \times \frac{I_{o\lambda/3}}{I_{o\lambda}} = \frac{1}{8895} \times \frac{k_\lambda}{k_{\lambda/3}}$$

et dans le cas d'emploi du carbone et des filtres :

$$K_T = \frac{\alpha_{\lambda/3}}{\alpha_\lambda} \times \frac{K'_\lambda}{K'_{\lambda/3}} \times \frac{I_{o\lambda/3}}{I_{o\lambda}} = \frac{1}{2135} \times \frac{k_\lambda}{k_{\lambda/3}}$$

d) Résultats

Le tableau de la Figure VI.7 regroupe les calculs effectués et les courbes Figures VI.8 et VI.9 représentent les résultats obtenus.

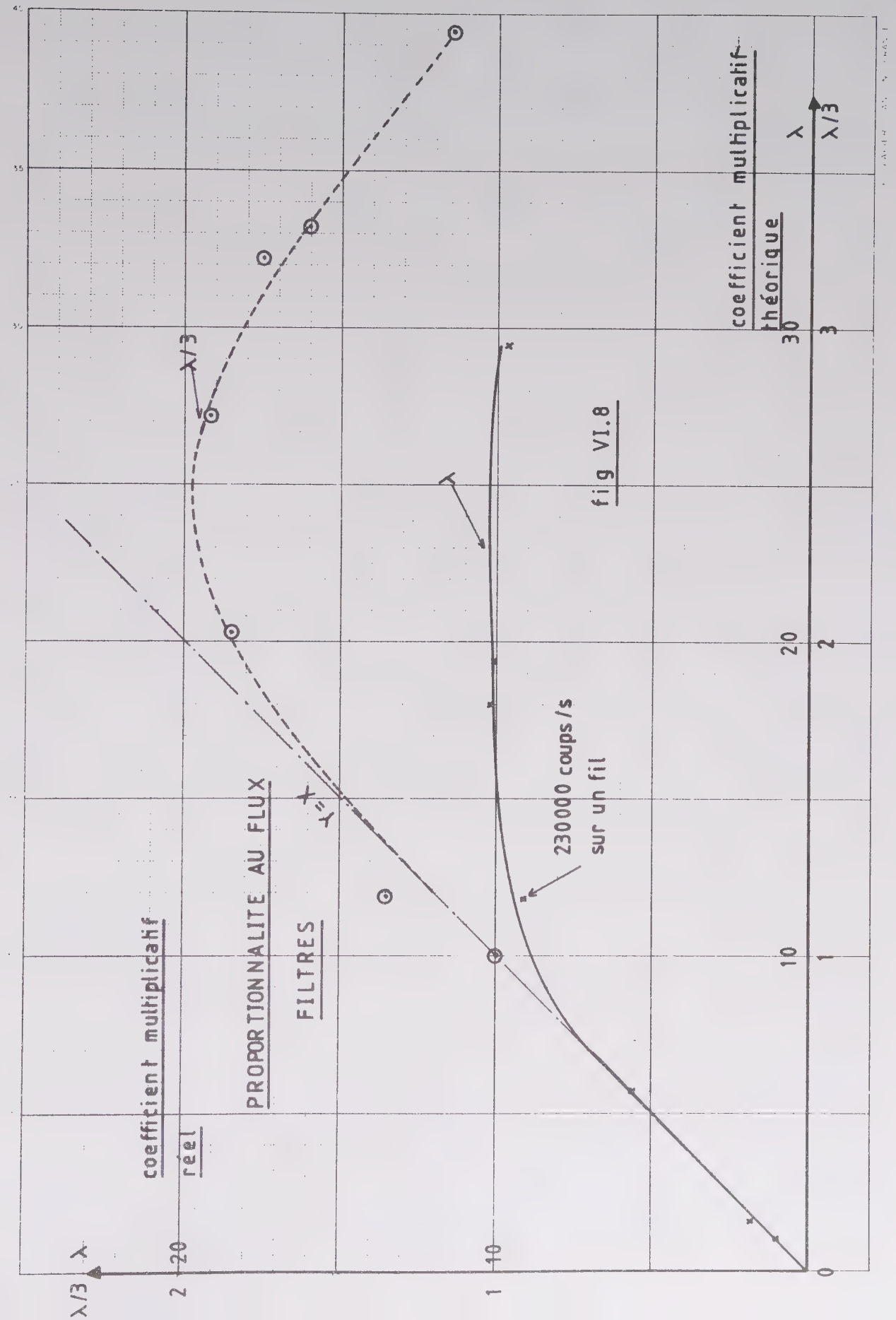
Le premier spectre est considéré comme représentant le flux unitaire, (coefficient multiplicatif égal à 1), des autres spectres on déduit le coefficient multiplicatif théorique en faisant le rapport des atténuations des filtres. Le nombre de coups en λ et en $\lambda/3$ est ensuite calculé en fonction des résultats précédents par la formule indiquée au paragraphe cα). On fait ensuite le rapport des nombres de coups des spectres à celui du spectre unité pour obtenir les coefficients multiplicatifs expérimentaux calculés.

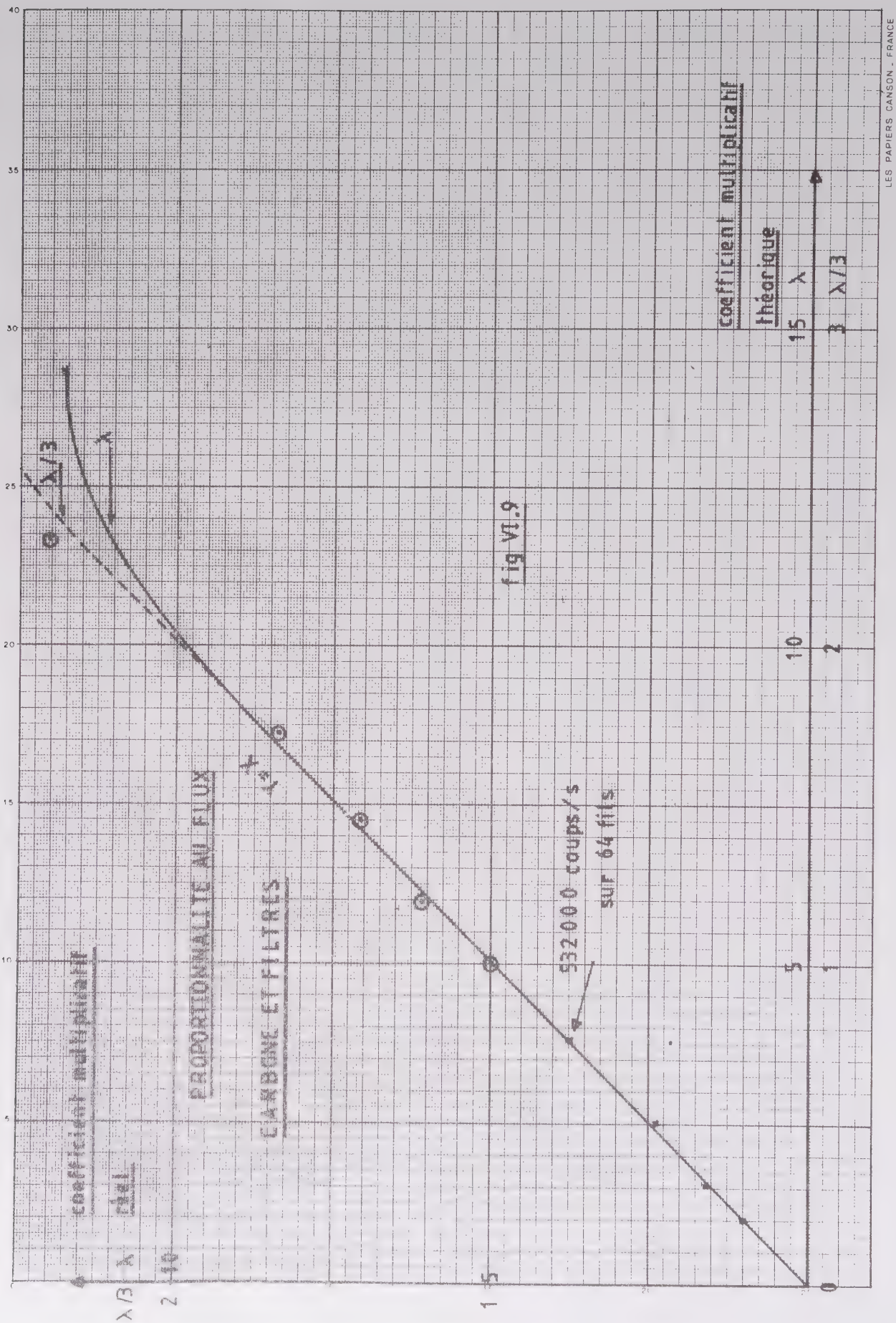
En raison de l'incertitude sur le premier point on détermine à l'aide des quatre premières valeurs (zéro compris) une droite par la méthode des moindres carrés dont la pente a permet de corriger les valeurs expérimentales calculées. Avec les filtres a = 0,786 pour λ et 0,85 pour $\lambda/3$, avec les filtres et le carbone a = 0,97 pour λ et 0,975 pour $\lambda/3$.

Avec les filtres (Figure VI.8) on obtient un taux de comptage sur un fil supérieur à 230.000 coups/s avec une perte de comptage de 23 %, ordre de grandeur compatible avec le taux de comptage de l'électronique analogique (1MHz).

	λ		λ/3		K_T				λ		λ/3		N°
	atténuation k_λ	multiplication	atténuation $k_{\lambda/3}$	multiplication		Σ_T	Σ_λ	$\Sigma_{\lambda/3}$	multiplication calculée	multiplication corrigée	multiplication calculée	multiplication corrigée	
FILTRES	50034,63	1	80,02	1	0,07	8265	7724	541	1	1	1	1	1
	32793,53	1,53	67,44	1,19	0,055	11893	11273	620	1,46	1,86	1,15	1,35	2
	8754,98	5,72	39,50	2,03	0,025	34780	33932	848	4,39	5,59	1,57	1,85	3
	4234,14	11,82	29,43	2,72	0,016	55890	55010	880	7,12	9,07	1,63	1,92	4
	2778,79	18,00	24,82	3,22	0,013	62736	61931	805	8,02	10,20	1,49	1,75	5
	2585,47	19,35	24,10	3,32	0,012	61869	61135	734	7,92	10,08	1,36	1,6	6
	1696,80	29,49	20,32	3,94	0,009	59405	58875	530	7,62	9,70	0,98	1,15	7
CARBONE ET FILTRES	14,28	1	2,94	1	0,0023	124030	123748	282	1	1	1	1	1
	9,13	1,56	2,45	1,2	0,0017	192144	191809	335	1,55	1,6	1,19	1,22	2
	5,71	2,50	2,03	1,45	0,0013	295052	294664	388	2,38	2,45	1,38	1,42	3
	3,75	3,81	1,71	1,72	0,0010	450520	450058	462	3,64	3,75	1,64	1,68	4
	1	14,28	1	2,34	0,0005	1421622	1420956	666	11,49	11,84	2,36	2,42	5

fig VI.7 tableau de calcul de proportionnalité au flux


coefficient multiplicatif
réel
PROPORTIONNALITE AU FLUX
FILTRES
λ/3
λ
coefficient multiplicatif
théorique
λ/3
λ
230000 coups/s
sur un fil
fig VI.8


coefficient multiplicatif
théorique
λ/3 λ
coefficient multiplicatif
réel
PROPORTIONNALITE AU FLUX
CARBONE ET FILTRES Al
32000 coups/s
sur 64 fils
fig VI.9
LES PAPIERS CANSON - FRANCE

Pour des flux plus importants, on verrait se manifester de manière croissante l'effet de saturation des fils dû à l'écrantage de la haute tension par les ions.

Avec le carbone et les filtres (Figure VI.9) la perte de comptage est de 1,6 % pour un nombre total de coups sur 64 fils actifs de 532.000 coups/s.

La difficulté de la méthode ne permet pas une plus grande précision dans l'évaluation de la linéarité. Il serait souhaitable de reprendre cette expérience en s'affranchissant du $\lambda/3$.

5) Résolution

a) Résolution courante

Pour apprécier la résolution de la chambre dans des conditions usuelles d'utilisation en lumière synchrotron, nous avons fait l'expérimentation suivante : un échantillon de Dipalmitoylphosphatidylcholine est placé à 645mm des fils. On l'irradie avec un faisceau monochromatique de 1,54 Å. On obtient son spectre caractéristique représenté par la Figure VI.10. C'est un spectre de raies. Il a été acquis après une pose de 10s. La Photo VI.4 montre ce même spectre acquis sur un tube à rayons X après une pose de 10 heures.

b) Amélioration de la résolution

En déplaçant la chambre d'une quantité inférieure au pas entre les fils et en relevant les spectres de l'échantillon pour les diverses positions de la chambre, on peut considérer que tout se passe comme si l'on avait augmenté le nombre des fils de la chambre.

La juxtaposition des spectres obtenus donne un spectre unique d'un pas correspondant aux déplacements successifs.

Pour déplacer la chambre, on la fait tourner autour de son centre de courbure en poussant à l'aide d'une butée micrométrique un bras de son support tripode (Figure VI.11 et Photo VI.3).

La butée, montée perpendiculairement au bras, exerce sa poussée au point P. Le point P se déplace sur un cercle de centre C, le point M, intersection de ce cercle avec l'axe du bras, se déplace sur ce même cercle. M vient en M_1, P en P_1; le nouveau point de poussée est P_2.

Le vernier mesure le déplacement PP_2.

Le déplacement des fils rapporté au déplacement de la butée micrométrique est :

$$FF_1 = \beta R = R \operatorname{arctg} \frac{P_2P}{\sqrt{CM^2+MP^2}} .$$

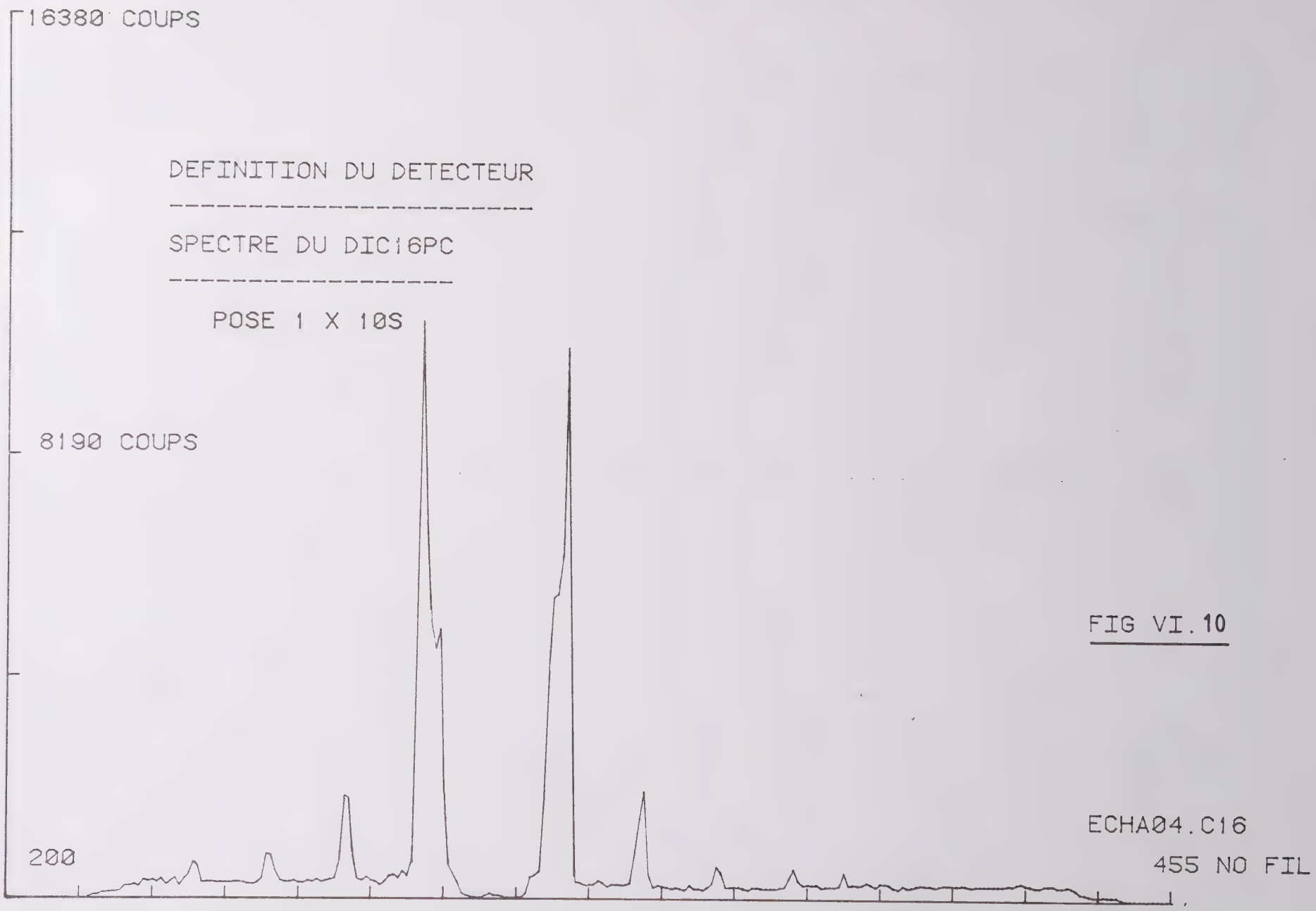
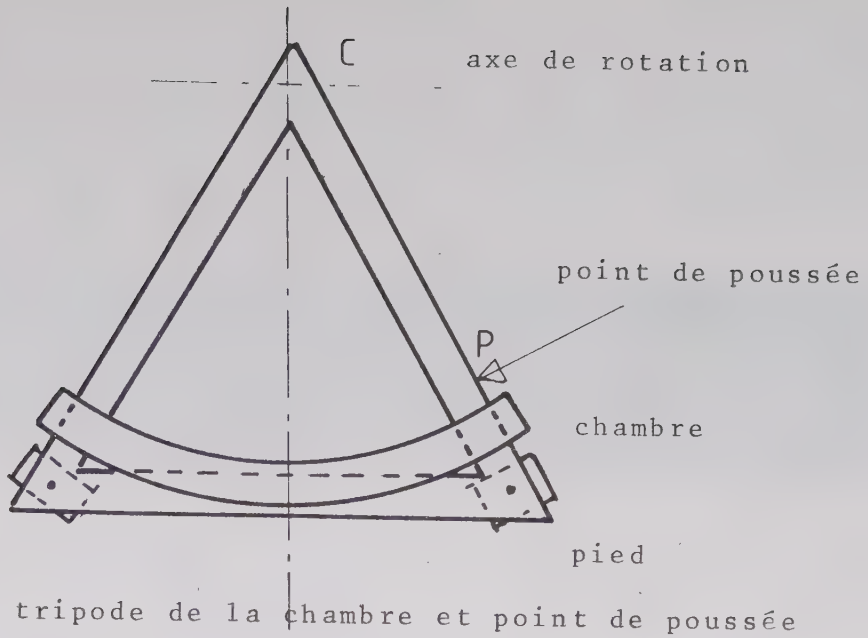
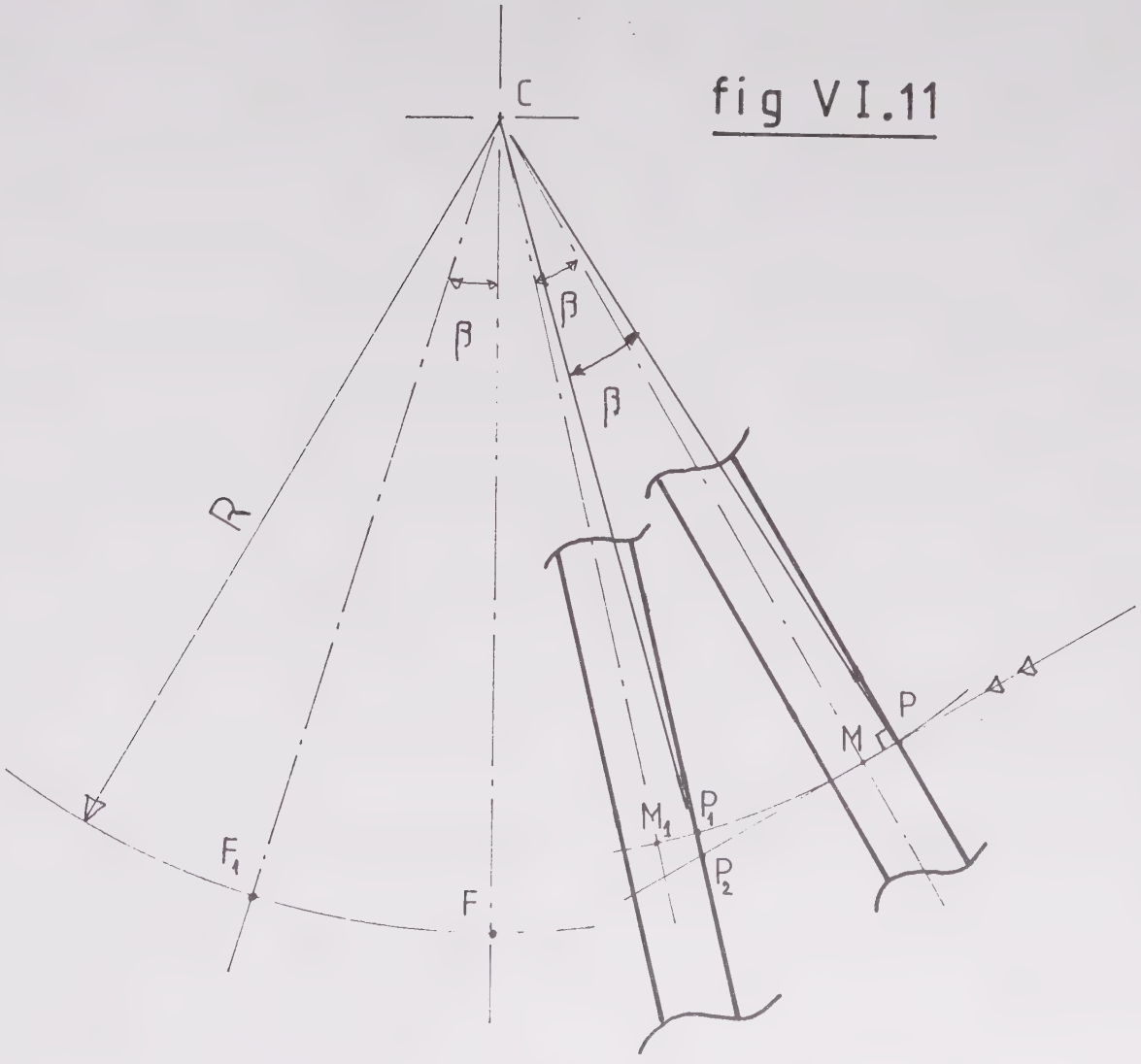

16380 COUPS
DEFINITION DU DETECTEUR
SPECTRE DU DIC16PC
POSE 1 X 10S
8190 COUPS
200
ECHA04.C16
455 NO FIL

FIG VI.10

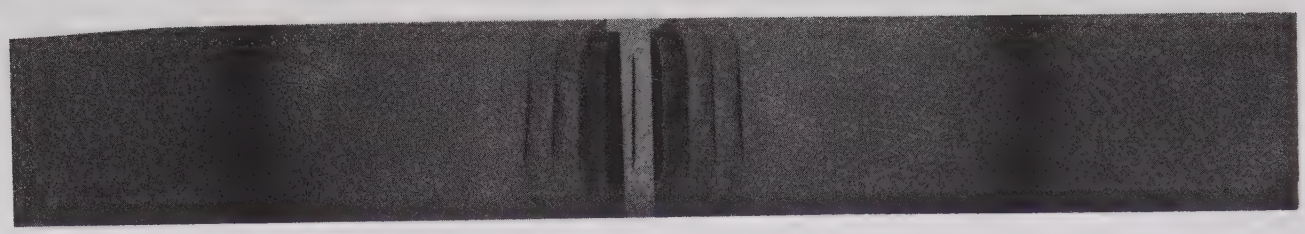


Chassis tripode de la chambre et point de poussée

fig VI.11



lorsque le point de poussée passe de P à P_2
chaque fil se déplace d'un arc FF_1



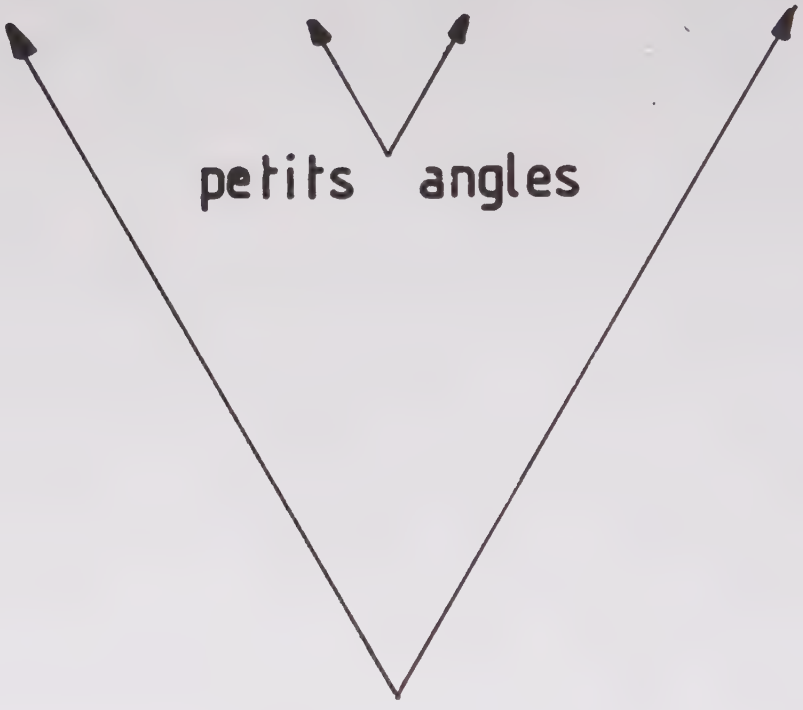


photo VI.4 SPECTRE DU DIC16PC

pose 10 heures

c) Résultats

La Figure VI.12 montre le spectre obtenu en juxtaposant trois spectres. Le premier a été relevé à partir d'une position de départ et les deux autres après un déplacement de 0,26mm de la butée micrométrique (0,316mm au niveau des fils).

La théorie mathématique du glissement des histogrammes a été faite par J.M.F. Chamayou (1980).

Dans le cas présent, on peut se rendre compte que la précision obtenue sur le calcul de la distance réticulaire d de l'échantillon, est meilleure lorsque l'on déplace la chambre.

Si l'on estime que la position des pics servant au calcul est mesurée à 1 fil près on obtient :

avec le spectre de la Figure VI.10 $58,4 < d < 66,2$ Å
l'erreur totale de mesure étant de 2 mm,

et avec le spectre de la figure V.12 $60,2 < d < 62,8$ Å
l'erreur totale de mesure étant de 0,68 mm.

On peut aussi remarquer, en comparant les Figures VI.13 et VI.14 que le contour des pics est défini avec plus de points dans le second cas.

d) Justification et limites de la méthode

La justification de la méthode repose sur la bonne reproductibilité de la chambre et sur la rapidité d'acquisition qui permet de considérer que le flux de photons de l'anneau est demeuré constant pendant les 3 relevés successifs (×). Mais il faut noter d'une part, que le déplacement mécanique doit être connu avec une bonne précision et que, d'autre part, la distance entre fils doit être rigoureusement constante par construction. En effet, on peut voir que pour un pic étroit on obtient aux environs de la mi-hauteur une pente de 2760 coups par mm soit donc 270 coups pour 0,1mm, ce qui est très important par rapport aux écarts des maxima des différents spectres bruts (voir tableau) (Figure VI.15).

(×) Ceci est une hypothèse parfaitement justifiée, puisque lors des derniers runs, la décroissance du faisceau stocké, d'une intensité de 250mA, a été de l'ordre de 20mA en 3 heures.

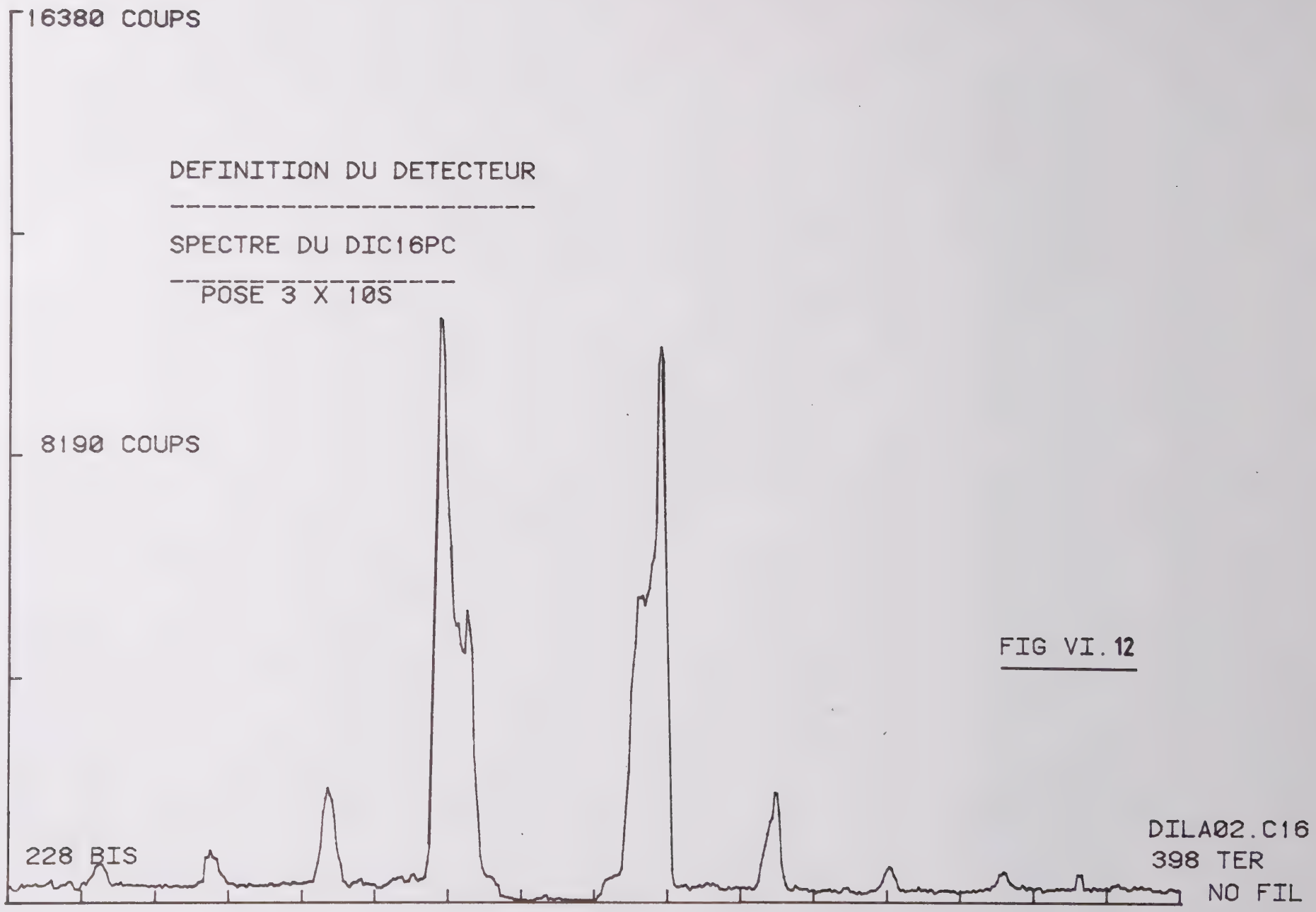

16380 COUPS
DEFINITION DU DETECTEUR
SPECTRE DU DIC16PC
POSE 3 X 10S
8190 COUPS
228 BIS
DILA02.C16
398 TER
NO FIL

FIG VI. 12

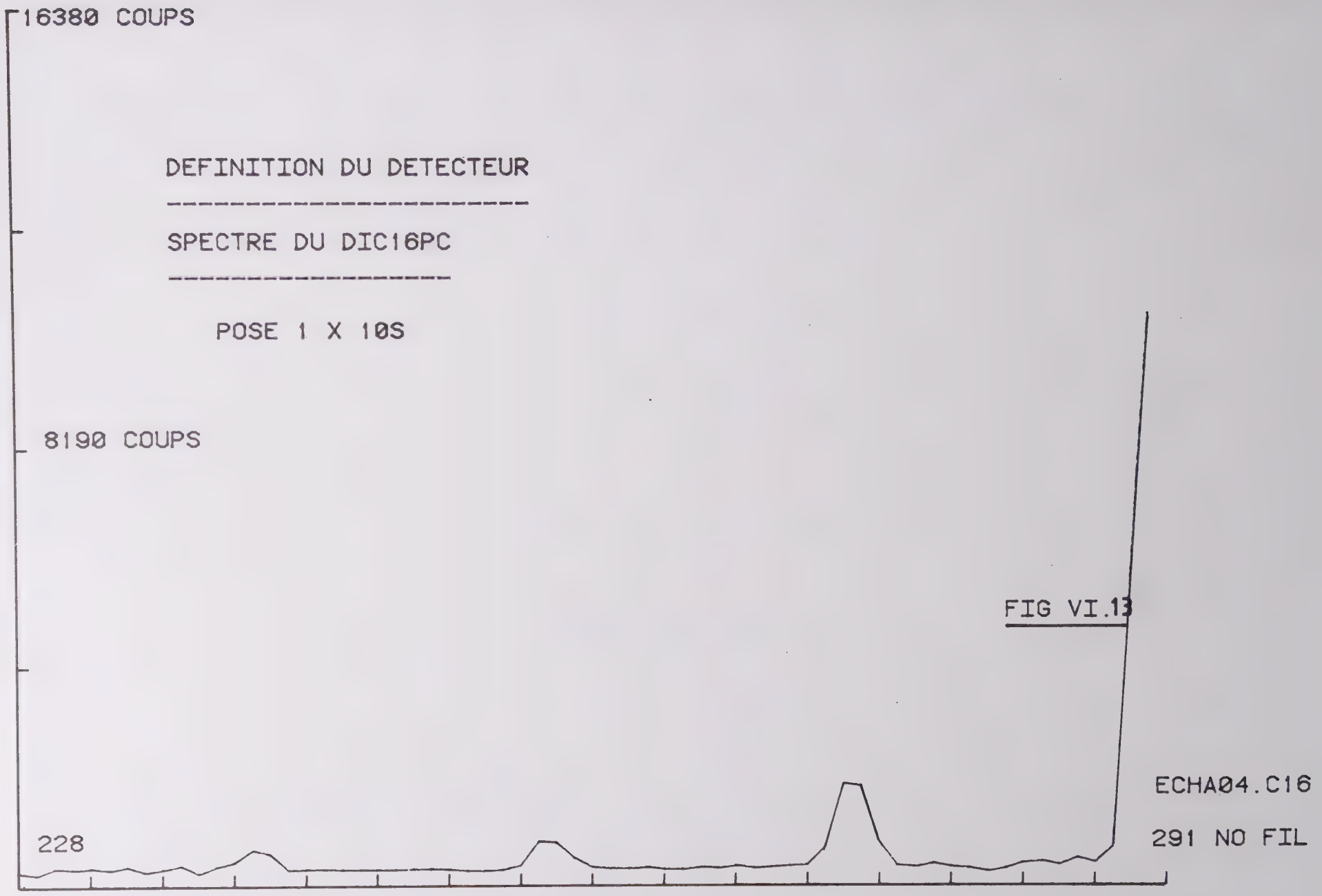

16380 COUPS
DEFINITION DU DETECTEUR
SPECTRE DU DIC16PC
POSE 1 X 10S
8190 COUPS
228
ECHA04.C16
291 NO FIL

FIG VI.13

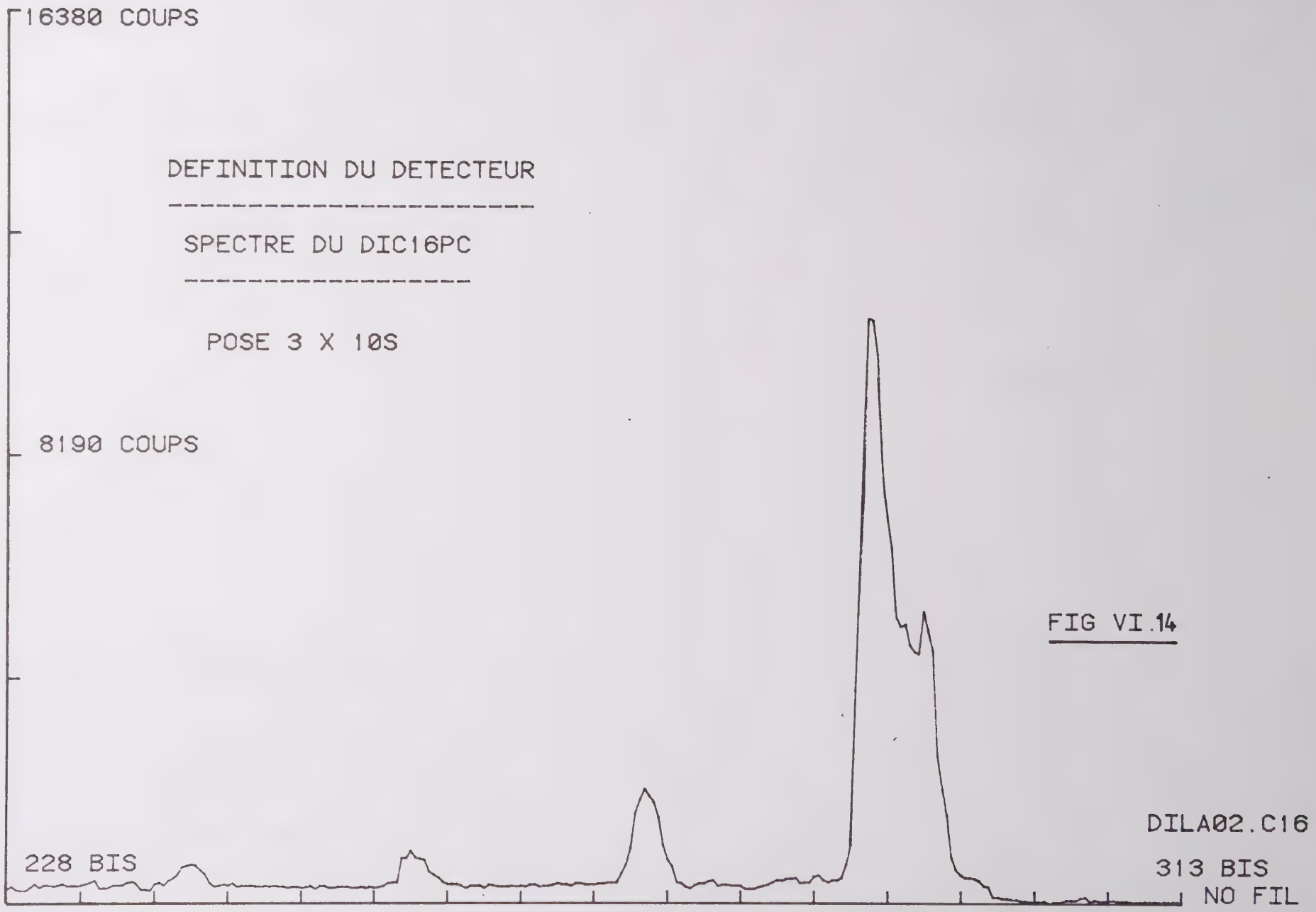

16380 COUPS
DEFINITION DU DETECTEUR
SPECTRE DU DIC16PC
POSE 3 X 10S
8190 COUPS
228 BIS
DILA02.C16
313 BIS
NO FIL

FIG VI.14

DILA02.C16	5783 6341	7495 6981	10735 9900	10707 10210	10078 9933	7974 6614
ECHA05.C16		3904 6199	10735 9900	7974 6614		
ECHA04.C16			5783 6341	10707 10210	7087 4555	
ECHA03.C16				7495 6981	10078 9933	6523 2801

fig VI.15 tableau des maxima

VII - ETUDES DE SYSTEMES BIOLOGIQUES LIPIDES-EAU

Le détecteur et son électronique d'acquisition de données ont été utilisés pour l'étude statique et cinétique des transitions conformationnelles dans les systèmes lipides-eau.

Ces études ont été entreprises avec L. Letellier et E. Schechter du Laboratoire des Biomembranes à Orsay ainsi qu'avec A. Tardieu et J.L. Ranck du Laboratoire de Génétique Moléculaire à Gif sur Yvette.

Nous avons utilisé l'appareillage de saut thermique mis au point par J.L. Ranck et H. Moudden dans leur laboratoire (Rapport d'activités LURE 1978-1979).

La Photo VI.4 représente un diagramme de diffraction typique d'un lipide (DIC16PC). La région centrale de ce diagramme qui est celle des petits angles a été étudiée en utilisant un détecteur Gabriel connecté à l'électronique digitale d'acquisition par un multiplexeur. Puis, la région extérieure, qui est celle des grands angles, a été étudiée avec la chambre à fils. Enfin, l'étude simultanée de ces deux régions a été réalisée également avec la chambre à fils.

1. Structure des lipides et but de l'étude

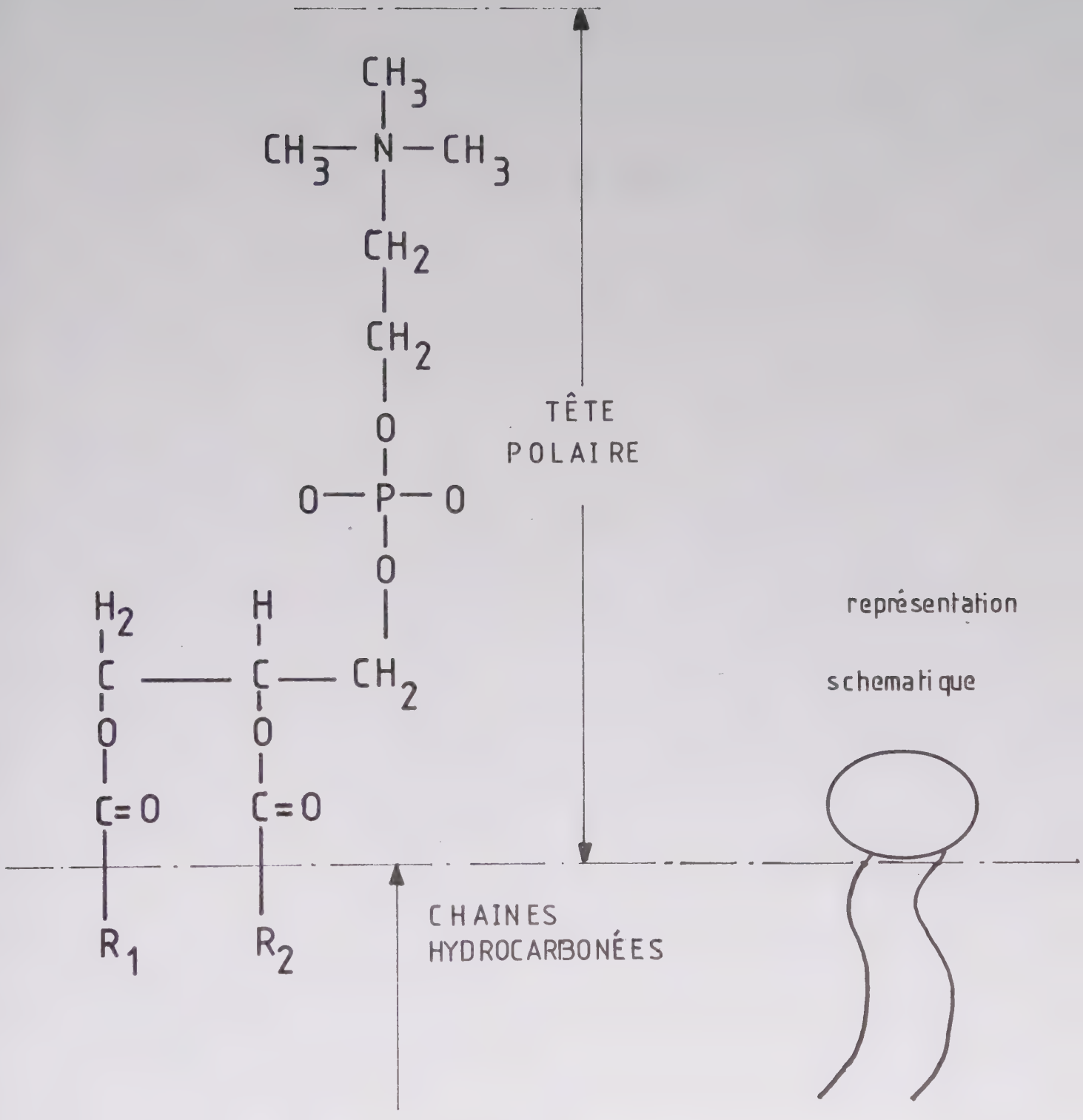
Les lipides sont constitués d'une tête polaire et de deux chaînes hydrocarbonées. Les lipides d'une même classe se distinguent entre eux par la constitution de leurs chaînes, la tête restant identique. Les chaînes peuvent se différencier par leur longueur (nombre de groupe CH_2) ou par leur saturation (groupe CH au lieu de CH_2).

Lorsque les lipides sont extraits de membranes(×) les têtes et les chaînes sont différentes. On peut, par synthèse, réaliser des lipides ayant même tête et même chaîne ; c'est le cas des lécithines par exemple (Figure VII.1).

(×) Les membranes sont des systèmes naturels. Une membrane est constituée d'une double couche lipidique à l'intérieur de laquelle se trouvent des protéines.

Un système lipidique est un système artificiel ; il est constitué par des lipides extraits de membranes auxquels on a ajouté de l'eau pour en faire un système plus ou moins ordonné.

...



LECITHINE (phosphatidyl choline)

fig VII.1

Le passage des chaînes d'un état désordonné à haute température à un état ordonné à basse température induit dans certaines membranes biologiques une ségrégation de ses constituants lipidiques et protéiques.

Le but de l'étude est de suivre le détail des processus de transition.

2. Méthode expérimentale

On relève à différentes températures maintenues constantes le spectre de la substance étudiée. On met ainsi en évidence le domaine de température où une évolution caractéristique du spectre se produit.

On effectue ensuite autour de cette zone un saut thermique très rapide devant le temps de ségrégation et l'on relève une succession de spectres pendant ce saut avec des temps de pose différents. L'enregistrement simultané de la variation de température permet de relier, par l'intermédiaire du temps, les différents spectres à la température. On appelle cycle l'ensemble des spectres relevés pendant un saut de température. Pour obtenir des intensités suffisantes malgré les temps de pose très réduits de chaque spectre, on relève plusieurs cycles dans les mêmes conditions et l'on somme les spectres de chaque cycle qui correspondent au même instant d'acquisition. On obtient ainsi un cycle unique dans lequel le nombre de coups de chaque spectre devient significatif.

Une série de sauts en température est faite dans le sens croissant et une autre série dans le sens décroissant.

3. Etude de lipides aux petits angles

Deux cas typiques sont

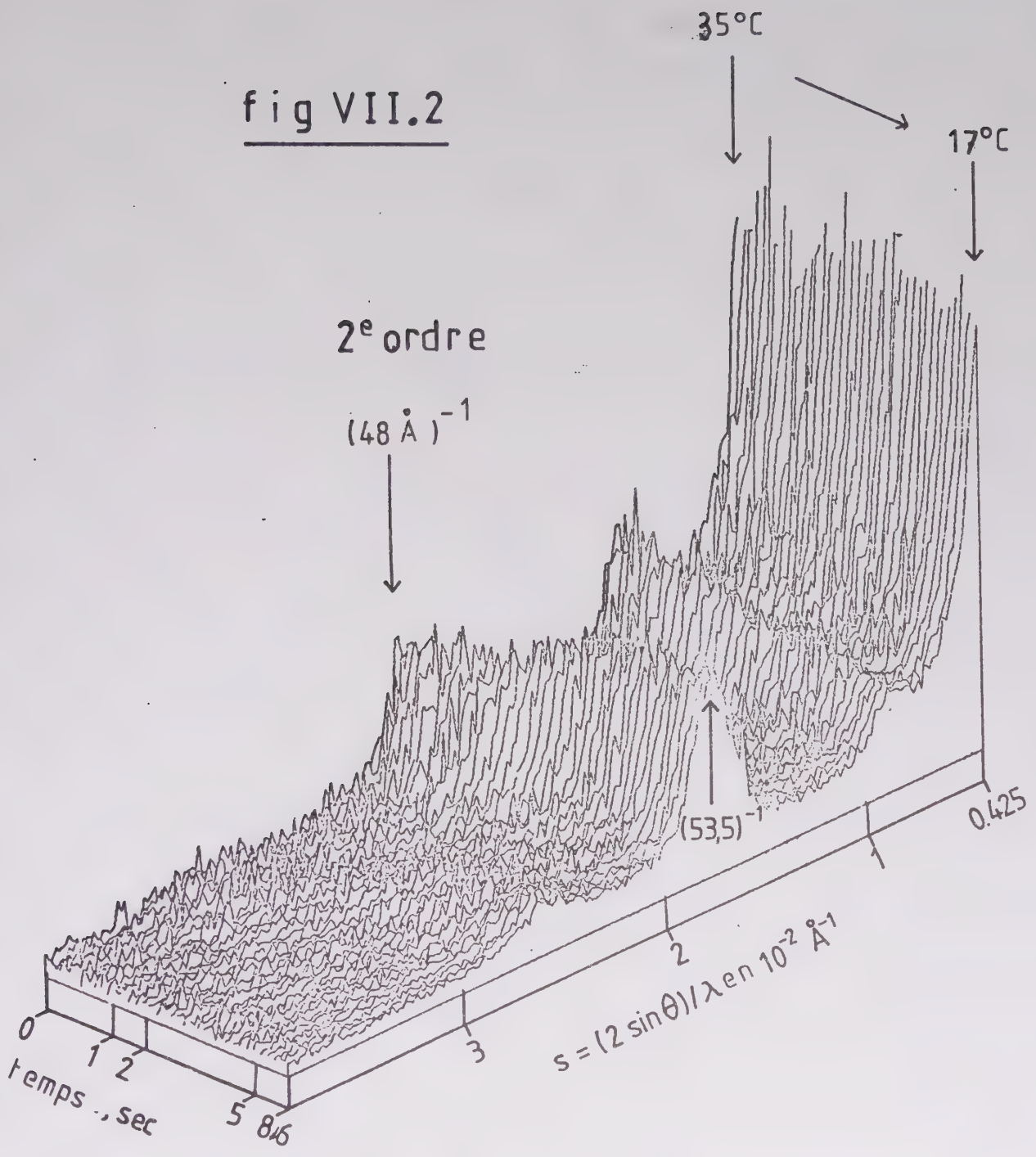
a) lipides extraits de membrane d'E.coli : le pic se déplace en fonction de la température (Figure VII.2).

b) lipides extraits de membrane de Bacillus subtilis : une raie large à 10°C devient une raie fine à 22°C (Figure VII.4).

...

Dans les membranes, les protéines ne peuvent se déplacer librement si les lipides sont ordonnés ; il en résulte que lorsque l'on induit une transition désordre → ordre, il se constitue d'un côté une plage lipidique ordonnée et de l'autre une plage lipidique non ordonnée dans laquelle se trouvent les protéines. On a donc, par cette transition, induit une ségrégation des constituants lipidiques et protéiques de la membrane.

fig VII.2



Lipides de Escherichia Coli

diagramme intensité diffusée = f(t, s)

LIPIDES d'E. coli (petits angles)

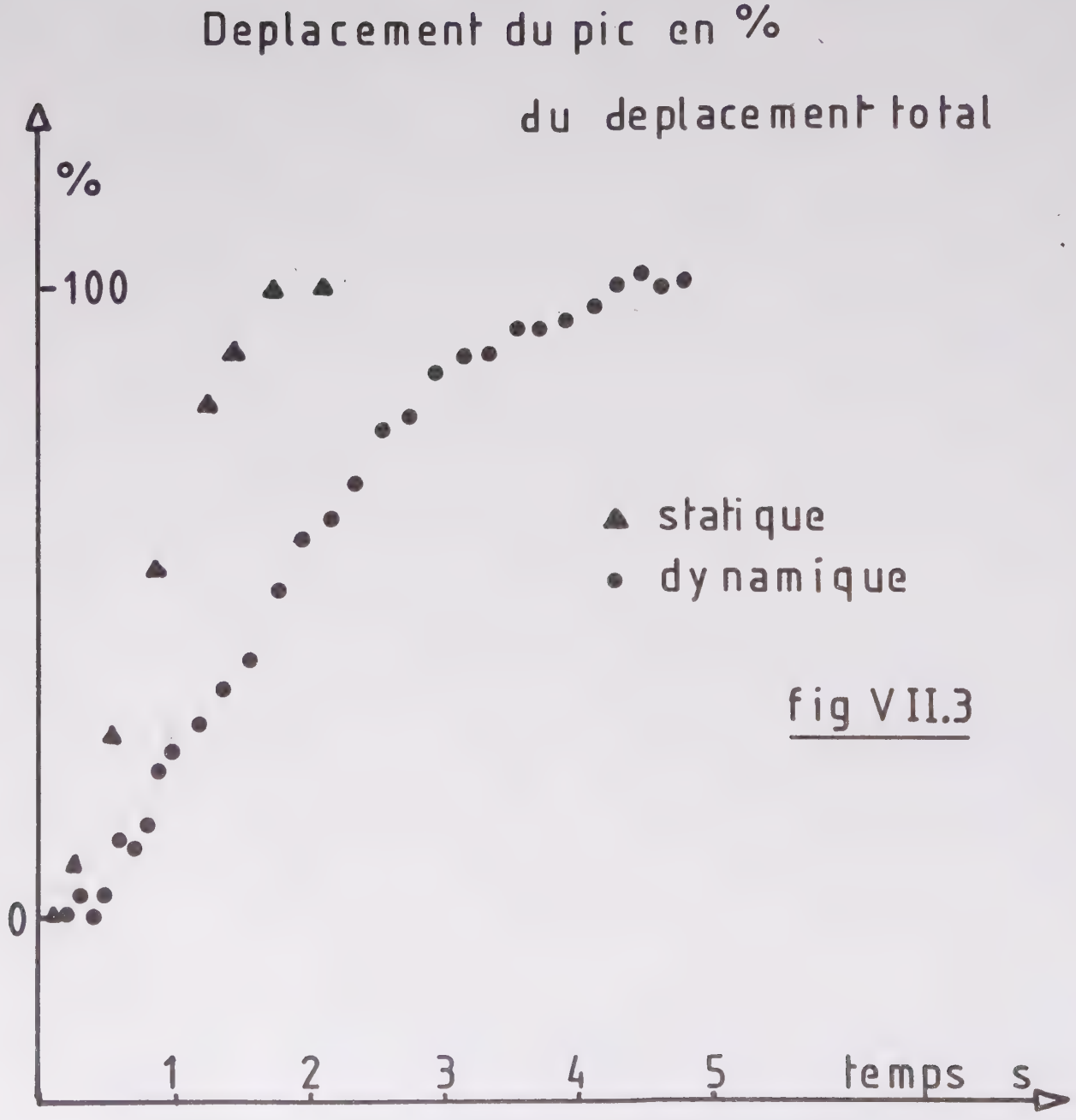
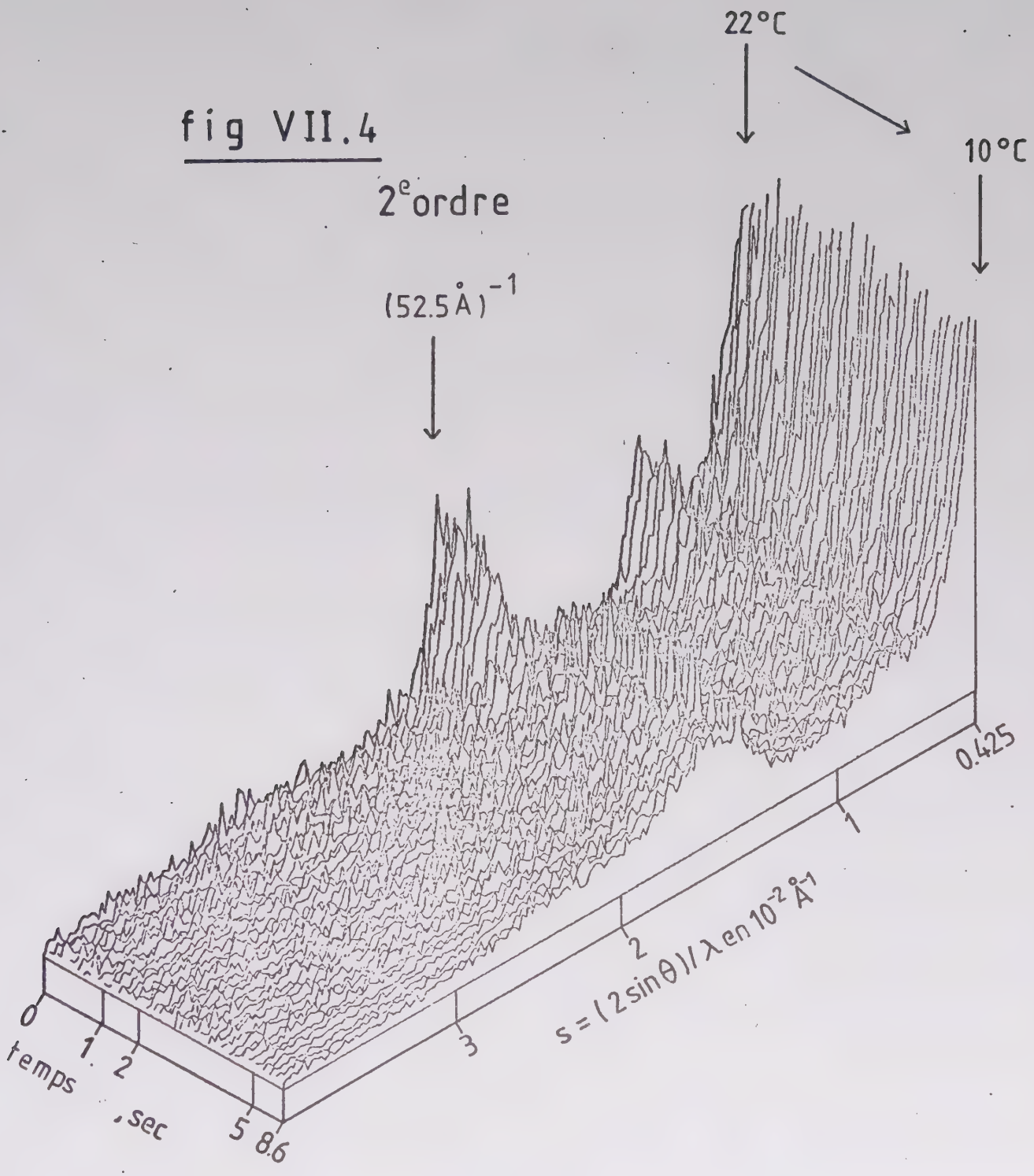


fig VII.3

fig VII.4



Lipides de Bacillus Subtilis

diagramme intensité diffusée = f(t,s)

Pour chiffrer l'évolution, on choisit un paramètre typique.

Pour a) c'est la position du pic que l'on porte en fonction du temps (Figure VII.3). On représente sur le même diagramme la position du pic relevée sur les spectres obtenus en statique, ce qui équivaut à faire un tracé correspondant à une inertie nulle. On peut ainsi mettre en évidence le retard par rapport au choc thermique avec lequel se produit la transition.

Pour b) c'est l'intensité du pic qui est représentée en fonction du temps et l'on ne voit apparaître ici aucun retard à l'établissement du changement structural (Figure VII.5).

4. Etudes aux grands angles

Des deux systèmes présentés, seuls les lipides de E.Coli diffusent une intensité suffisante aux grands angles pour être étudiés en cinétique.

On constate que le pic ne se déplace pas, mais varie en intensité pendant le saut en température. La Figure VII.6 représente les spectres obtenus pour un saut de 33°C à 5°C.

Si l'on trace en fonction du temps les courbes statiques et dynamiques de l'évolution de l'intensité du pic (Figure VII.7), on voit qu'un faible retard apparaît.

5. Interprétation

Le domaine des petits angles est celui des raies lamellaires ; il est en relation avec l'ordre à longue distance, correspondant à la périodicité du motif. Le domaine des grands angles est celui des raies du réseau hexagonal ; il représente l'ordre à courte distance, celui entre molécules (Figure VII.8).

Le déplacement ou le changement d'intensité du pic aux petits angles correspond à un changement de structure du mélange lipides-eau qui, à volume constant, présente une répartition différente de ses composants (Figure VII.8).

Au début, à haute température, les chaînes lipidiques sont désordonnées et la répartition des épaisseurs qui est dans le rapport des compositions (au rapport des densités près) donne une certaine fréquence de répétition du motif (distance réticulaire).

A la fin, à basse température, les chaînes lipidiques sont en partie étirées et ordonnées, leur épaisseur est donc plus grande. Pour conserver le rapport des compositions, l'épaisseur de la zone aqueuse doit aussi augmenter, d'où un accroissement de la distance réticulaire.

LIPIDES de B. Subtilis

Variation d'intensité de la raie $(52.5 \text{Å})^{-1}$

en % de la variation totale

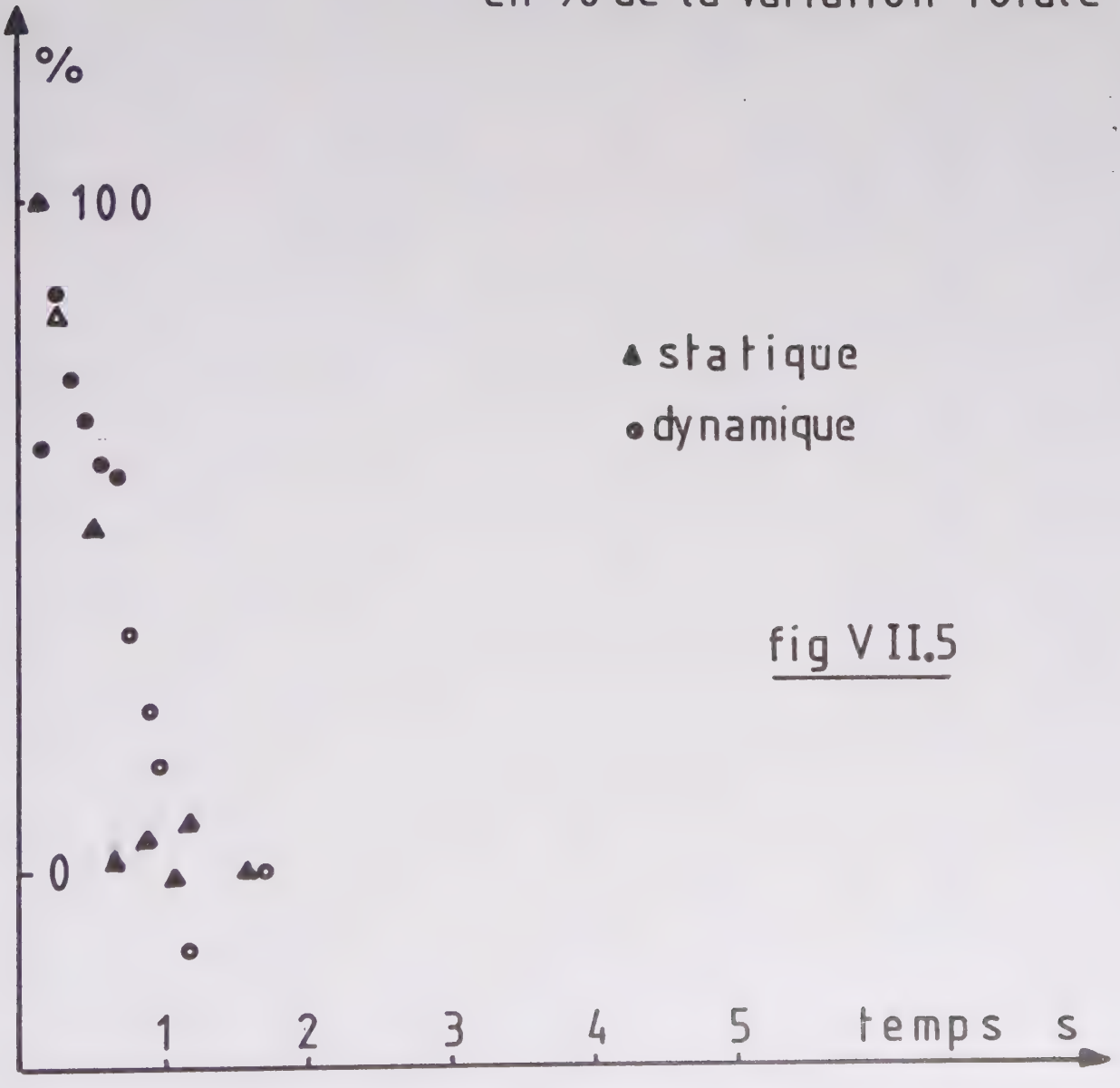


fig V II.5

LIPIDES d'E.coli

évolution de la raie aux grands angles

en fonction de s et de t

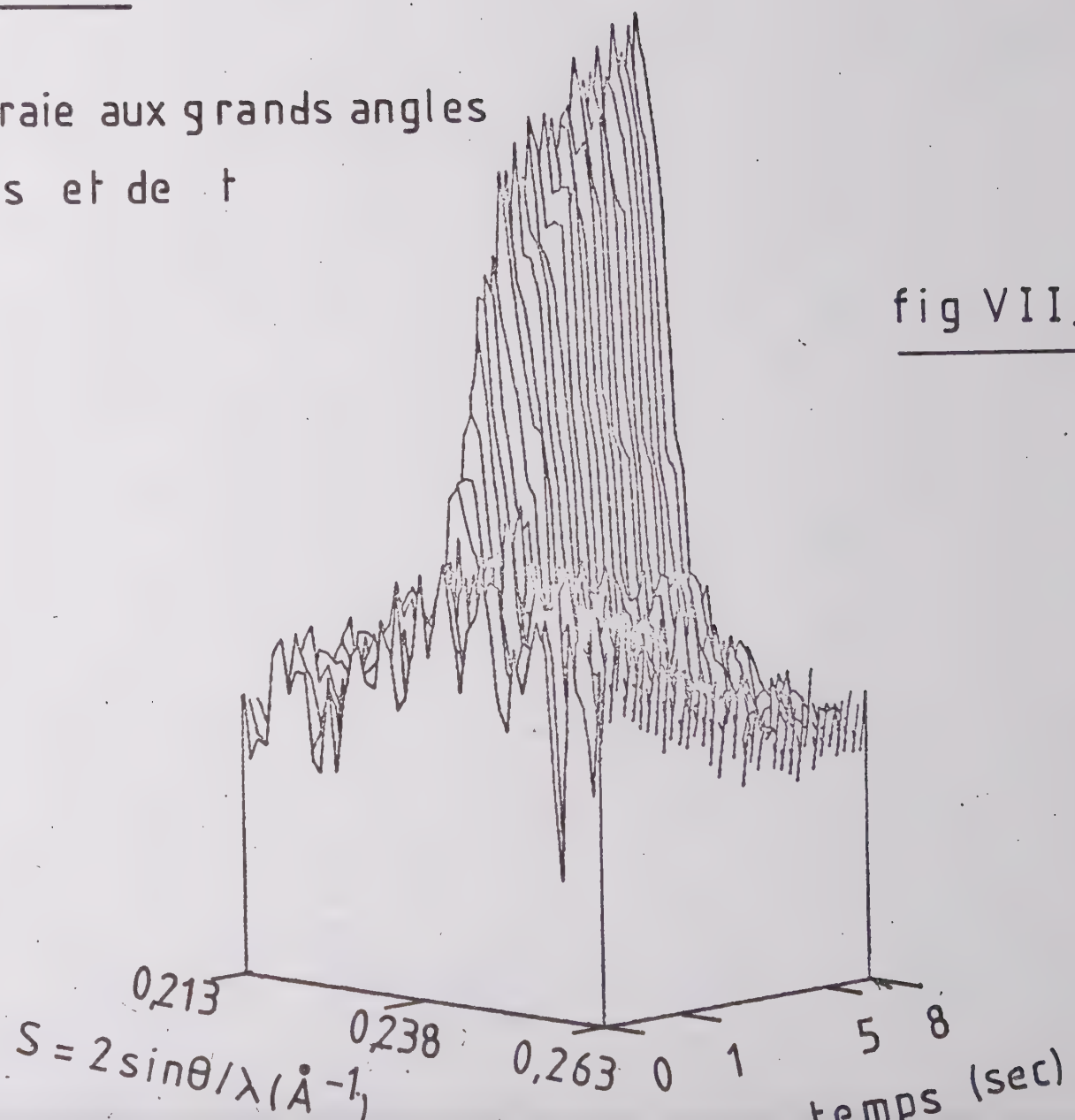


fig VII.6

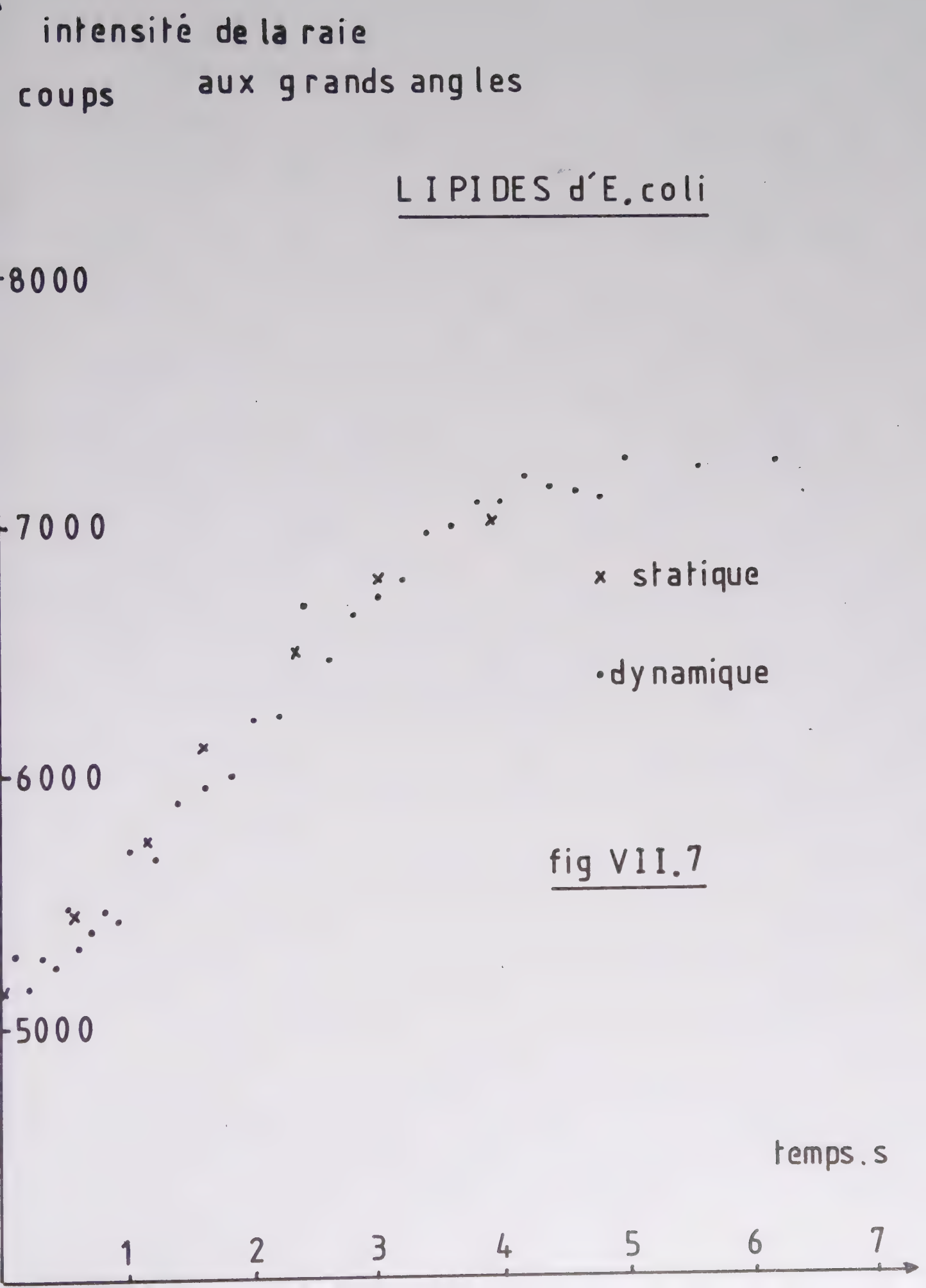

intensité de la raie
coups aux grands angles
LIPIDES d'E.coli
8000
7000
6000
5000
× statique
• dynamique
temps.s
1
2
3
4
5
6
7

fig VII.7

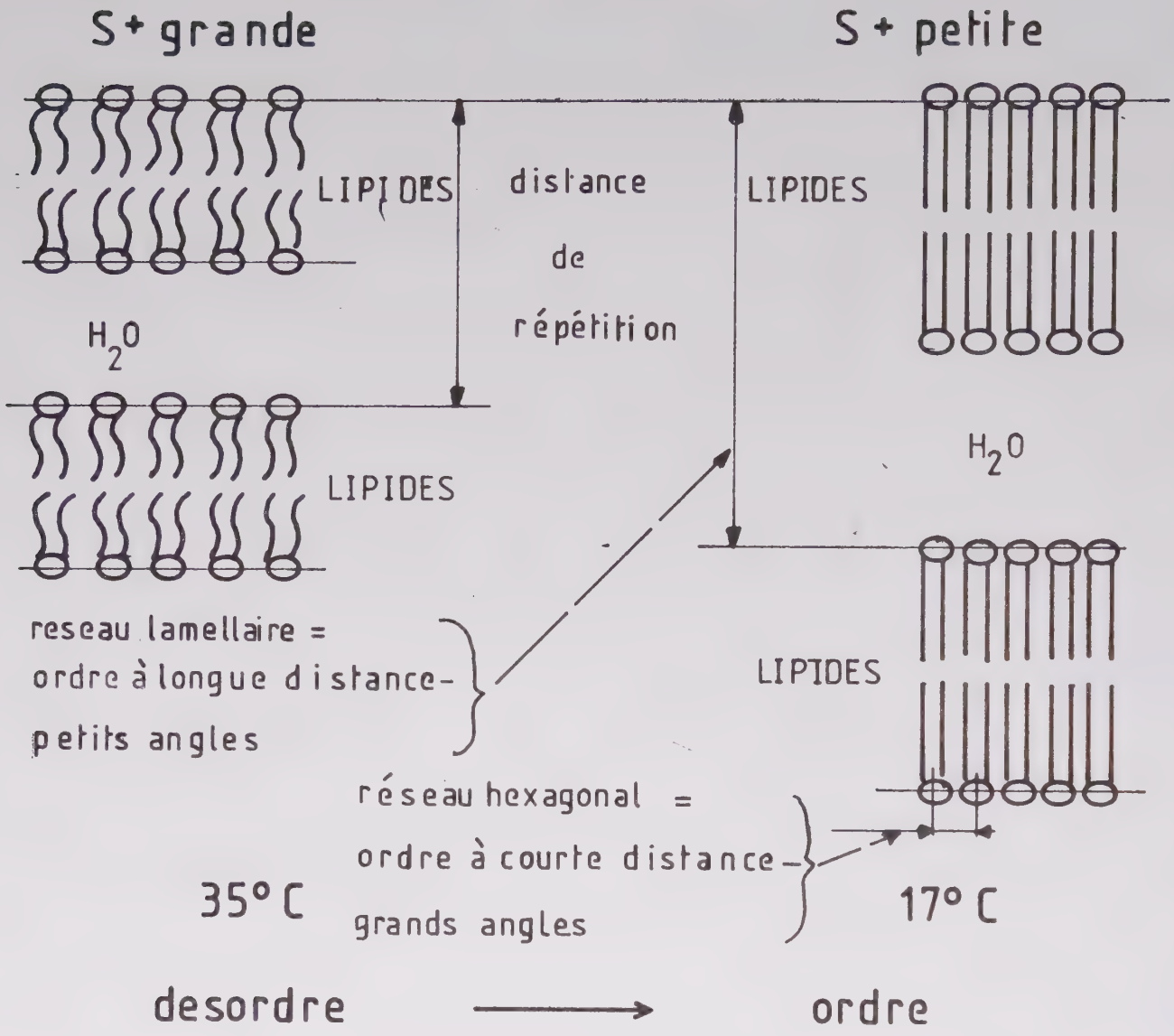


fig VII.8

S = surface par tête polaire

De plus, la réorganisation correspond à une mise en place des chaînes en réseau hexagonal qui se reflète notamment par l'apparition d'une raie aux grands angles (4,2 $Å^{-1}$).

6. Etudes simultanées aux grands angles et aux petits angles

Dans les premières expériences que nous avons présentées, il n'était pas possible d'enregistrer simultanément les grands angles et les petits angles.

Le détecteur, en raison de son ouverture, permet d'enregistrer les deux zones simultanément. Nous avons donc pu faire les deux types d'expériences dans les mêmes conditions expérimentales (montage, réglage du faisceau, intensité de DCI, même échantillon). Toutefois, chaque prise de données était faite avec deux durées de pose différentes en statique, en raison de la différence d'intensité entre les raies aux grands angles et celles aux petits angles. C'est ce que nous avons pu faire avec la lécithine d'oeuf. Les Figures VII.9a et 9b montrent deux spectres typiques mettant en évidence chacun des deux domaines étudiés.

7. Résultats de ces études

Deux cas typiques ont été mentionnés ici ; en fait beaucoup d'autres systèmes ont été étudiés. De l'ensemble des résultats, on a pu montrer que :

a) le retard par rapport au choc thermique avec lequel se produit le changement de structure dépend de la nature des lipides (Figures VII.3 et 5).

b) l'évolution du pic suit le même chemin en statique et en dynamique.

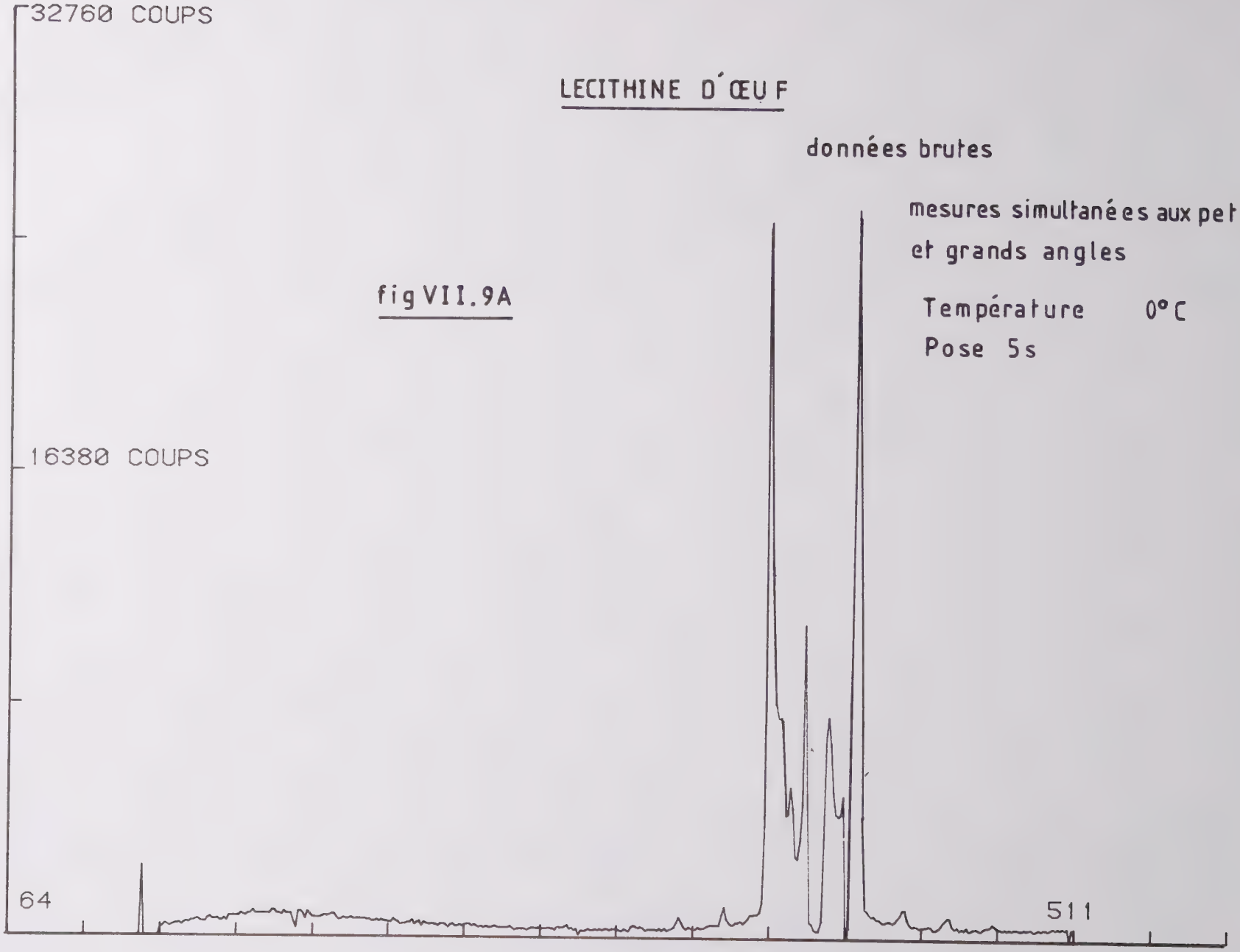
c) certains retards peuvent être de l'ordre de la seconde (Figure VII.3).

d) l'ordre à courte distance s'établit plus rapidement que l'ordre à grande distance (Figure VII.3 comparée à Figure VII.7).

e) les retards sont plus importants dans le sens désordre vers ordre ($\theta\searrow$) que dans le sens inverse, ordre vers désordre ($\theta\nearrow$).

f) il semble que les retards observés dans la transition aux grands angles soient correlés avec la taille des domaines ordonnés.

g) Du point de vue biologique, en comparant membranes et lipides extraits, on obtient les mêmes résultats aux grands angles ; ce qui signifie que les protéines (que l'on trouve dans les membranes et non dans les lipides extraits) n'interviennent pas dans la transition.


32760 COUPS
LECITHINE D'ŒUF
données brutes
mesures simultanées aux petits
et grands angles
fig VII.9A
Température 0°C
Pose 5s
16380 COUPS
64
511

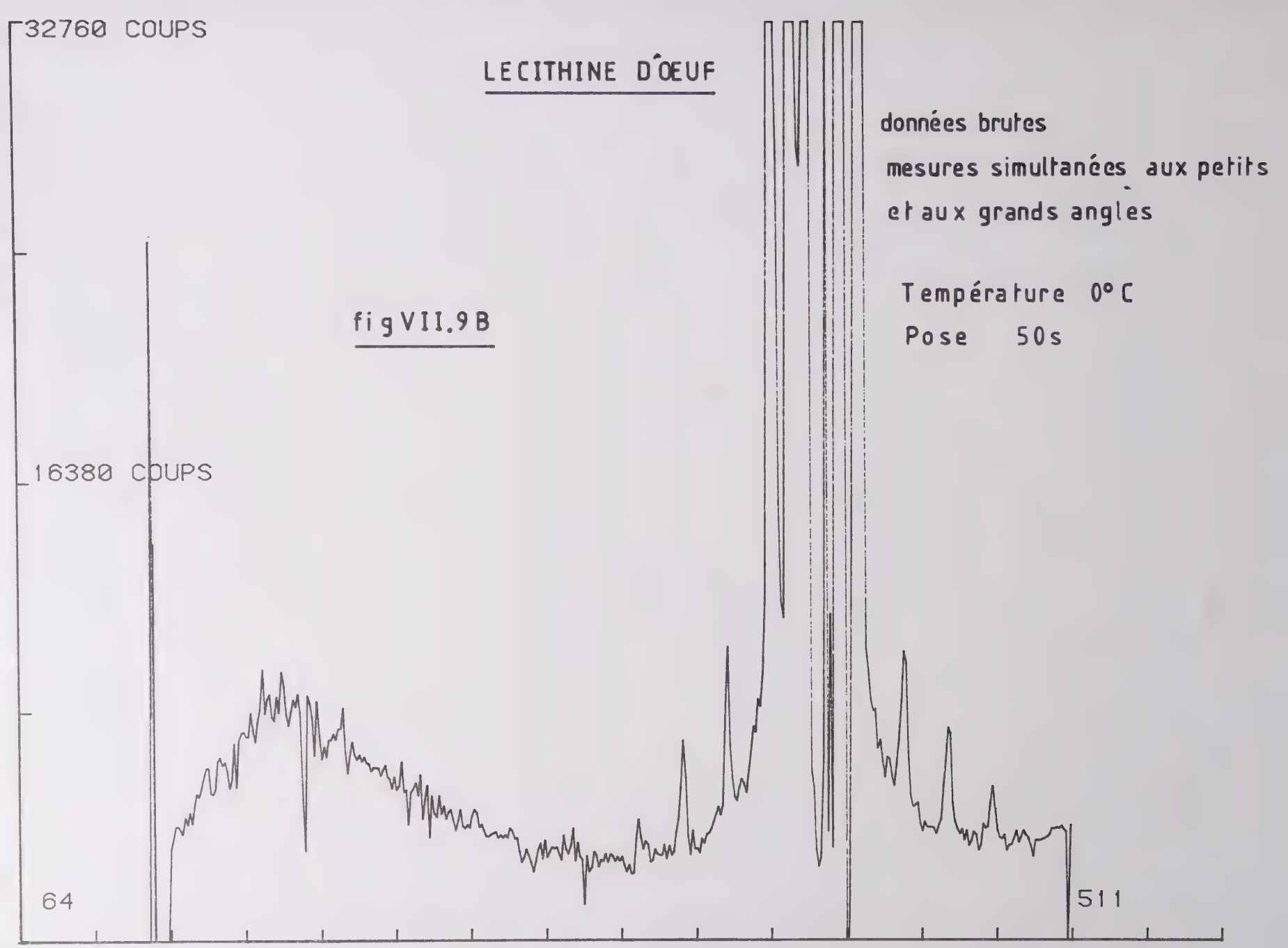

32760 COUPS
LECITHINE D'ŒUF
données brutes
mesures simultanées aux petits
et aux grands angles
Température 0° C
Pose 50s
16380 COUPS
64
511

fig VII.9B

Ces résultats vont faire l'objet d'une publication.

8. Conclusion

Ces études ont été entreprises dans le but de mieux comprendre certains phénomènes de transition de phase. C'est la première fois que des études cinétiques ont pu être réalisées sur ces phénomènes, grâce à l'ensemble de l'appareillage. On peut envisager d'étendre son utilisation, aussi bien en statique qu'en cinétique, à d'autres systèmes (cristaux liquides, polymères, etc..).

VIII - CONCLUSION

Le Laboratoire est maintenant doté d'un nouveau type de détecteur. Bien qu'il ne s'agisse que d'un prototype, celui-ci est maintenant opérationnel. Sa mise en oeuvre a été riche d'enseignements et a contribué à augmenter notre expérience de ce genre d'appareillage.

Les caractéristiques du détecteur et de son électronique sont les suivantes :

rayon de courbure	60 cm
fils équipés	383
ouverture angulaire correspondante	36°50
pas de Parallaxe	
taux de comptage par fil (électronique seule) (1)	1 MHz
taux de comptage (détecteur inclus)	> 0.2 MHz
séparation d'événements séparés de moins de	70 ns
acquisition en cinétique	35 spectres
durée minimum d'un spectre (2)	10 µs
dynamique de temps pour un cycle	1 à 120
temps de transfert (512 compteurs)	0,8 ms
temps mort entre deux spectres (transfert compris)	1,5 ms
reproductibilité (le même jour ou d'un jour à l'autre)	1,6 à 2,5 %
linéarité différentielle brute	5 %
linéarité différentielle après normalisation	1,6 à 2,1 %
coefficient de dispersion	2,4 %
taux de comptage maximum sur un fil (λ = 1,54 Å)	230 000 coups/s
résolution spatiale (0,3 mm par déplacement de la chambre)	1 mm
étalonnage possible à 2,1 Å	source Fe 55
à 1,54 Å	noir de carbone

(1) supérieur à 10 MHz dans le cas du multiplexeur (CTD non compris).
(2) limite théorique ; la limitation expérimentale est celle de la statistique de comptage de l'expérience.

Diverses modifications sont possibles pour améliorer les performances du détecteur :

amplificateurs sur le détecteur,

amplificateurs à gain réglable,

restructuration de la carte analogique,

recherche d'un nouveau discriminateur,

déplacement mécanique calibré du détecteur.

Un outil nouveau et puissant est mis à la disposition des chercheurs. Le taux de comptage maximum n'a encore jamais été atteint lors des expériences dans lesquelles il a été employé depuis un an, ce qui laisse la possibilité ultérieure d'utiliser des flux plus élevés.

L'électronique a permis depuis 3 ans des acquisitions en cinétique avec le détecteur Gabriel, et plus récemment la chambre à fils ; elle se révèle largement dimensionnée pour la chambre à fils et pourrait sans difficultés être associée à des détecteurs à taux de comptage plus élevé.

Avec 383 fils équipés et pourvus du système de logique, le détecteur et son électronique dépassent les performances d'appareillages similaires utilisés à l'antenne de Hambourg du Laboratoire Européen de Biologie Moléculaire et au Laboratoire de Rayonnement Synchrotron de Novossibirsk. Ceux-ci ne disposent que de 128 canaux et n'utilisent pas de logique.

Enfin, pour la première fois à notre connaissance, dex expériences de cinétique ont pu être réalisées simultanément aux grands angles et aux petits angles.

La voie est ouverte pour de nouvelles expériences.

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I

H. BUC, R. FOURME Le rayonnement synchrotron à LURE Interface Physique Biologie Editions du CNRS

Y. FARGE (1982) L'onde électrique vol.62 n°2

J. SCHWINGER (1949) Physical Review vol.75 n°12 June 15

G.K. GREEN (1976) Spectra and optics of synchrotron radiation Rapport BNL 50 522, BNL Laboratory, Upton, NY 11973 USA

F. WUILLEUMIER (1973) Caractéristiques du rayonnement émis par les anneaux de collision d'Orsay Rapport interne LURE (73/05)

H. BRUCK (1966) Accélérateurs circulaires de particules Bibliothèque des Sciences et Techniques Nucléaires. Saclay

M. SANDS The Physics of electron storage rings Rapport SLAC 121-UC28, Stanford Linear Accelerator, Ca. 94305 USA

J.B. BARRAUD Principes de radiocristallographie Masson, Paris

A. GUINIER Théorie et technique de la radiocristallographie Dunod, Paris

Y. CAUCHOIS Atomes, Spectres et Matière Albin Michel, Paris

C. DUPONT, A. GABRIEL, M. CHABRE (1972) Nature 238, 33

A. GABRIEL, F. DAUVERGNE (1978) Nucl. Inst. and Methods 152, 191-194

R. ALLEMAND, G. THOMAS (1976) Nucl.Inst. and Methods 137, 141

G. COMBY (1980) Nucl.Inst. and Methods 176, 313-321

CHAPITRE II

F. SAULI (1977) Principles of operation of multiwire proportionnal and drift chambers
Rapport 77-09, CERN, Genève

G. CHARPAK, F. SAULI, R. KAHN (1978) Nucl.Inst. and Methods 152 185-190

R. KAHN, R. FOURME, P. PERNOT (1978) Abstract 14.2.2 Acta Cryst. 5330

CHAPITRE III

J.C. SANTIARD (1976) Charge amplifier in semi-hybridation
Rapport interne CERN, Genève

DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION DR11-B Manual DEC-11-HDRC-D

CHAPITRE V

P. PERNOT, R. FOURME, R. KAHN, G. CHARPAK, P. LEBOUCHER (1981)
Un détecteur linéaire à haut taux de comptage et un système d'acquisition de données pour les études de diffusion X résolues en temps
Note interne LURE

P. PERNOT, R. KAHN, R. FOURME, P. LEBOUCHER (LURE)
G. MILLION, J.C. SANTIARD, G. CHARPAK (CERN) (1982)
Nucl.Inst. and Methods (sous presse)

J. FOURASTIE, B. SAHLER (1981) Probabilités et statistique
Série J. Quinet Dunod, Paris

M. MOREAU, A. MATHIEU (1979) Statistique appliquée à l'expérimentation
Eyrolles, Paris

CHAPITRE VI

P. VACHETTE (1979) Contribution à l'étude de la structure du ribosome d'E.Coli
Thèse d'état

M. LEMONNIER, R. FOURME, F. ROUSSEAUX, R. KAHN (1978)
Nucl.Inst. and Methods 152, 173-177

R. KAHN, R. FOURME, A. GADET, J. JANIN, C. DUMAS, D. ANDRE (1982)
J. Appl. Cryst. 15, 330-337

K. KOHRA, H. HASHIZUME (1978) Nucl.Inst. and Methods 152, 161-166

J.M.F. CHAMAYOU (1980) Comp. Phys. Comm. 21, 145

CHAPITRE VII

M. KOCH, A. TARDIEU (1981) La Recherche n° 128

J.L. RANCK, H. MOUDDEN Rapport d'activités LURE (1978-79)

A. TARDIEU (1972) Etude cristallographique de systèmes lipides-eau
Thèse d'état - Orsay

J.L. RANCK (1980) Transitions conformationnelles des chaînes hydrocarbonées dans les systèmes lipides-eau
Thèse d'état - Orsay

A. BERKALOFF, J. BOURGUET, P. FAVARD, J.C. LACROIX (1977)
Biologie et physiologie cellulaires I
Hermann, Paris